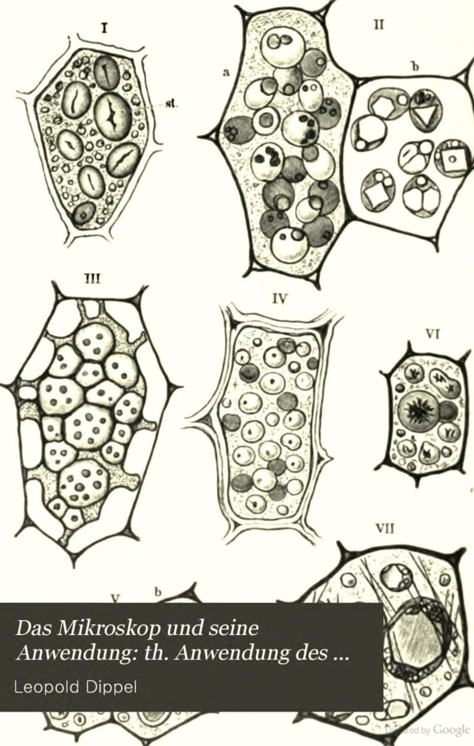
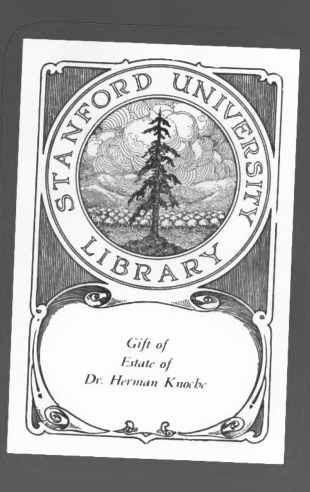


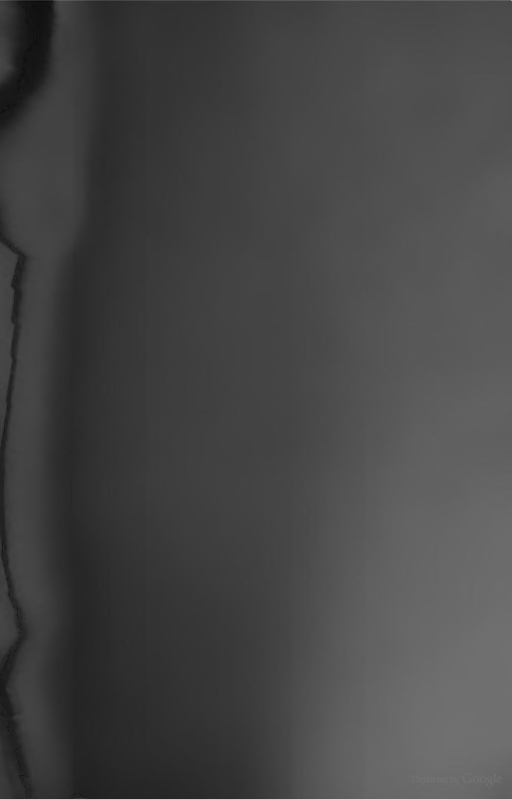
Das Mikroskop und seine Anwendung: th. Anwendung des ...

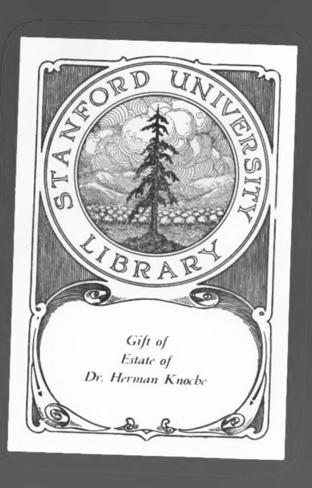
Leopold Dippel

Digitized by Google

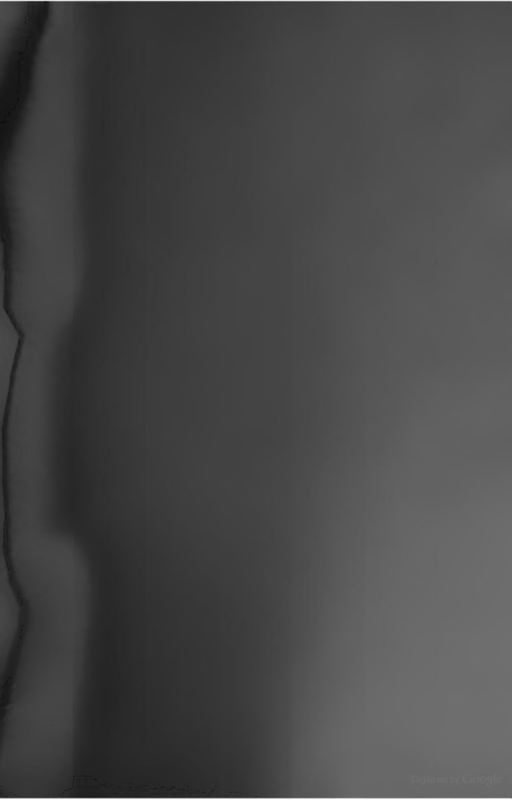


Digitized by Google


Digitized by Google



Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Digitized by Google

DAS

MIKROSKOP

UND

SEINE ANWENDUNG

VON

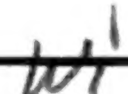
DR. LEOPOLD DIPPEL
ordentlichem Professor der Botanik a. D.

ZWEITE UMGEARBEITETE AUFLAGE

ZWEITER THEIL

ANWENDUNG DES MIKROSKOPES AUF DIE HISTIOLOGIE DER GEWÄCHSE

MIT 434 EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN UND DREI TAFELN IN FARBENDRUCK



BRAUNSCHWEIG
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN
1898

Digitized by Google

ANWENDUNG

DES

MIKROSKOPES

AUF DIE

HISTIOLOGIE DER GEWÄCHSE

VON

DR. LEOPOLD DIPPEL
ordentlichem Professor der Botanik a. D.

ZWEITE UMGEARBEITETE AUFLAGE

MIT 434 EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN UND DREI TAFELN
IN FARBENDRUCK

BRAUNSCHWEIG
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN
1898

Digitized by Google

578
DJ96
ed. 2
Bd. 2

Alle Rechte, namentlich dasjenige der Uebersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

Digitized by Google

VORREDE ZUR ERSTEN AUFLAGE.

Ueber Zweck und Umfang dieses Theiles, welcher zugleich eine gedrängte, aber möglichst umfassende Darstellung der vegetabilischen Histiologie enthält, hat sich der Prospect hinreichend ausgesprochen. Man wird mir daher in dieser Beziehung jede weitere Erörterung an dieser Stelle um so eher erlassen, als das Buch selbst für sich zu sprechen hat. Ich hoffe, es soll allen denen willkommen sein, für die ich es zunächst bestimmt habe und denen es — sei es zur mehr allgemeinen, bestimmten Zwecken dienenden Orientirung, sei es zur Vorbildung für eigene specielle Untersuchungen — darum zu thun ist, in wahrem Interesse für die Wissenschaft auf der von Schleiden vorgezeichneten Bahn exacter Forschung fortzuschreiten. Auch die Arbeiter in verwandten Gebieten, namentlich in der Phyto-Paläontologie, werden darin, vorzugsweise aber in den Abschnitten über die Untersuchung der Gewebe und der Organe, manches verwendbare Material zu Anhaltspunkten für ihre Beobachtungen finden.

Während des Druckes, der schon vor über zwei Jahren begonnen hat und für eine grössere Bogenanzahl vollendet war, sich dann aber verzögerte, sind auch die zweite Abtheilung des Mikroskopes von Nägeli und Schwendener, sowie mehrere andere botanische Werke und Abhandlungen erschienen, welche das ganze Gebiet oder einzelne Theile der Pflanzenhistiologie zum Gegenstande haben. Ich hätte dieselben in späteren Bogen bei der Literaturangabe anführen können, habe es aber unterlassen, weil ich sie an anderen Stellen nicht mehr aufzuführen vermochte, und werde in den Nachträgen auf dieselben hinweisen.

Zu einer Aenderung meiner histiologischen Anschauungen, die ich in Gesammtheit so lange festhalten und vertreten werde, als

Digitized by Google

sie nicht durch unzweifelhafte Thatsachen, sondern höchstens durch subjective Ansichten und Zeichnungen — wie z. B. die über Caulerpa u. s. w. veröffentlichten — widerlegt werden, gaben mir dieselben keine Veranlassung. Ebenso wenig mochte ich daraus Gründe zur Polemik schöpfen. Diese gehört zunächst nicht in ein Buch dieser Art. Dann bietet zur Beurtheilung von ungenügend gestützten, von selbstgenüglichem Dogmatismus dictirten Hypothesen, mit denen unsere Wissenschaft in der letzteren Zeit gar reichlich beschenkt worden ist, wie zur Kritik von falsch gedeuteten, oder unrichtigen, auf unzureichender Präparation beruhenden Thatsachen, eine richtig gewählte, mit Gewissenhaftigkeit und strengster Kritik der eigenen Präparate geübte Methode der Untersuchung, wozu ich anzuleiten versucht habe, den sichersten Weg.

Idar, im Januar 1869.

Dr. Leopold Dippel.

Digitized by Google

VORREDE ZUR ZWEITEN AUFLAGE.

Ueber Zweck und Ziel des Buches u. s. w. habe ich mich in der Vorrede zu der seit mehreren Jahren vergriffenen ersten Auflage ausgesprochen. In der vorliegenden Neubearbeitung, welcher, soweit es durch den Fortschritt der Wissenschaft bedingt war, in Bezug auf Inhalt und Untersuchungsmethoden fremde und eigene Resultate neuerer und neuester Forschungen zu Grunde gelegt sind, hat aus methodischen Gründen die Anordnung des Stoffes einige Aenderungen erfahren. Insbesondere sind die Polarisationserscheinungen an den betreffenden Stellen eingefügt und die entwickelungsgeschichtlichen Untersuchungen von den übrigen getrennt in den letzten Abschnitt verwiesen worden.

Für die gerade für ein derartiges Buch gebotene Ausstattung mit zahlreichen, die betreffenden Untersuchungsobjecte wiedergebenden, soweit es die technische Ausführung gestattete, in den Text eingefügten bildlichen Darstellungen, zu denen, neben den eigenen auch — und zwar unter Quellenangabe — eine Anzahl von solchen Autoren aufgenommen wurden, welche die betreffenden Gegenstände in eingehenderen Sonderabhandlungen behandelt haben, hat die Verlagsbuchhandlung bereitwilligst Sorge getragen.

Darmstadt, im April 1898.

Dr. Leopold Dippel.

Digitized by Google

INHALTSVERZEICHNISS.

Erster Abschnitt.

Untersuchungen über den Bau der Zelle.

Erstes Capitel.

Allgemeine Gestaltung der Zelle und ihres Inhaltes.

Seite

I. Die Zellwand 3
Optisches Verhalten der Zellwand 3
Chemische Beschaffenheit der Zellwand 7

II. Der lebendige Zellkörper 12
1. Die Zellhaut (Plasmahaut, Primordialschlauch) 12
2. Das Protoplasma 14
Feinerer Bau des Protoplasmas 15
Bewegung des Protoplasmas 16
Wandströmung 17
Binnenströmung 19
Wirkung verschiedener äusserer Einflüsse auf die Bewegung des Protoplasmas 22
Chemische Beschaffenheit des Protoplasmas 25
3. Der Zellkern 29
Form und Stellung des Zellkernes 30
Feinerer Bau des Zellkernes 32
Einschlüsse 35
Chemischer Aufbau des Zellkernes 35
4. Die Protoplasten 41
a) Weisskörper 41
Gestaltung 43
Chemische Beschaffenheit 44
b) Chlorophyllkörper 45
Formverhältnisse der Chlorophyllkörper 45
Innerer Bau 46
Einschlüsse 49
Chemisches Verhalten der Chlorophyllkörper 53
c) Buntkörper 56
Verbreitung und Gestaltung 56
Feinerer Bau 58
Einschlüsse 60
Chemische Beschaffenheit 61

Digitized by Google

Seite
5. Geformte Reservestoffe 67
a) Proteïnkörper 67
Proteïn- oder Aleuronkörner 67
Vorkommen und Gestaltung 67
Einschlüsse 70
Chemisches Verhalten 73
Krystalloide, Proteïnkrystalle 73
Formen der Krystalloide 74
Physikalisches Verhalten 75
Chemisches Verhalten 77
Granula 78
b) Stärkekörner 79
Vorkommen und Gestalt 79
Structur der Stärkekörner 82
Optisches Verhalten 89
Chemisches Verhalten und Nachweis der Stärke . . 90

III. Der Zellsaft 93

1. Kohlehydrate 93
Inulin 93
Rohr- und Traubenzucker, Dextrin, Gummi und Schleim 96
2. Gerbstoffe 99
3. Phloroglucin 102
4. Asparagin und Tyrosin 102
5. Nitrate und Nitrite 104
6. Farbstoffe 105

IV. Flüssige und feste Ausscheidungen 107

1. Fette und Oele 107
Fette und fette Oele 107
Flüchtige Oele 107
2. Terpene und Harze 107
3. Farbstoffausscheidungen 108
4. Krystalle 109
a) Calciumoxalat 109
Zusammensetzung und Vorkommen 109
Krystallformen 109
Mikrochemischer Nachweis und optisches Verhalten 112
Verhalten im polarisirten Lichte 114
b) Calciumcarbonat, -sulfat und -tartrat 118
5. Kieselkörper 120

Zweites Capitel.

Die Umbildung der Zelle.

I. Grössen- und Formveränderungen der Zelle 123

Aus allseitig gleichmässig oder ungleichmässig vor sich gehender Ernährung entstandene Zellenformen 123
Aus nach zwei Dimensionen vorwaltender Ernährung hervorgegangene Zellenformen 125
Aus einseitig vorwaltender Ernährung hervorgegangene Zellenformen 127

zed by Google

Seite

II. Verdickung der Zellwand 129
1. Innenverdickung 129
A. Zellstoffverdickung 129
a) Umfang der Verdickung 129
Allseitige Verdickung 129
Einseitige Verdickung 130
Leistenartige und stellenweise Verdickung 131
b) Schichtung der Zellwand 133
c) Formen der secundären Verdickung 146
Ringförmige Verdickung 147
Spiralige Verdickung 148
Spiralbänder 148
Spiralstreifung 150
Netzförmige Verdickung 162
Feinerer Bau der Verdickungsbänder 163
Poröse Verdickung 165
Einfache Poren 166
Siebporen 181
Behöfte Poren 183
Einseitig behöfte Poren 187
Doppelartige Verdickung 187
B. Verdickung durch Schleim 188
2. Aussenverdickung 193
III. Chemische Umbildungen der Zellwand 195
1. Verholzte Zellwände 197
2. Verkorkte Zellwände 203
3. Umbildung der Cambialwand (Intercellularsubstanz und Cuticula) 207
Intercellularsubstanz 207
Optisches Verhalten 207
Chemisches Verhalten 211

Drittes Capitel.

Die Arten der Pflanzenzellen.

I. Parenchymzellen 227
1. Dünnwandige Parenchymzellen 227
2. Verdickte Parenchymzellen 229
Collenchymzellen 229
Zellen des Sameneiweisses 230
Stark verdickte, verholzte Parenchymzellen 232
Optisches Verhalten der Parenchymzellen 233
Zellen der Lagerpflanzen 236
Zellen der Moose 242
Parenchym der Gefässkryptogamen und Phanerogamen . 242
II. Faserzellen 253
Gestalt der Faserzellen 254
Structur der Zellwand 255
Chemisches Verhalten der Zellwand 260
Optisches Verhalten der Faserzellen 264
Holzfasern 264
Bastfasern 269

zed by Google

Seite
III. Röhrenzellen 273
1. Holzröhren 273
Ringförmig verdickte Röhrenzellen 275
Spiralförmig verdickte Röhrenzellen 275
Netzförmig verdickte Röhrenzellen 277
Poröse Röhrenzellen 278
Rundbehöfte poröse Röhrenzellen 279
Röhrenzellen mit in die Breite gezogenem Hofe, sogenannte Treppengefässe 279
Spiralig-poröse und netzförmig-poröse Röhrenzellen . . 281
Einfluss benachbarter Gewebeelemente auf den Bau der Zellwand 281
2. Siebröhren 282
3. Milchröhren 287
Gegliederte Milchröhren 288
Ungegliederte Milchröhren 290
Optisches Verhalten der Röhrenzellen 291
Holzröhren 291
Sieb- und Milchröhren 295

Zweiter Abschnitt.

Untersuchungen über die Gewebe der höheren Gewächse.

Gleichartige Gewebe 298
I. Urgewebe 298
II. Grundgewebe 299
1. Mark 303
2. Rinde 308
Innenrinde 309
Aussenrinde 311
III. Hautgewebe 314
1. Oberhaut 314
a) Form, Verdickungsweise und Inhalt der Oberhautzellen . 314
b) Cuticularmetamorphose 317
Cuticula 317
Cuticularschichten 318
c) Spaltöffnungen 324
Bau 325
Stellung 326
Vertheilung über die Oberhaut 326
Lage der Spaltöffnungen 326
d) Wasserspalten 329
e) Nebenorgane der Oberhaut 330
Optisches Verhalten der Zellen der Oberhaut 333
2. Kork 337
a) Aussenkork 337
Gestalt und chemisches Verhalten der Korkzellen . 337
Formen des Aussenkorkes 339
b) Binnenkork (Borke) 341
Secundäre Borke der Laubhölzer 342
Borke der Nadelhölzer 343

Digitized by Google

Seite
Ungleichartige Gewebe 347
IV. Gefässbündel, Stranggewebe 347
1. Rudimentäres Gefässbündel 349
Gefässbündel der Laubmoose 349
2. Vollständiges Gefässbündel 352
A. Gefässbündel der höheren Kryptogamen 353
a) Gefässbündel der Schachtelhalme 354
b) Gefässbündel der Lycopodiaceen 356
c) Gefässbündel der Farnkräuter 359
d) Gefässbündel der Rhizocarpeen 364
B. Gefässbündel der Monokotyledonen 368
C. Gefässbündel der Dikotyledonen 382
a) Geschlossene Gefässbündel 382
b) Ringförmige Gefässbündel der krautartigen Gewächse 387
c) Gefässbündel der dikotyledonen Holzgewächse . . 389
Holztheil des Gefässbündels 391
Holzfasern 392
Holzparenchym 396
Holzgefässe 400
Füllzellen, Thyllen 405
Basttheil des Gefässbündels 406
Bastparenchym 406
Bastgefässe 411
Bastfasern 413
Strahlengewebe (Zwischengewebe) 417
D. Gefässbündel der Gymnospermen (Cycadeen und Coniferen) 422
Holztheil 423
Holzfasern 423
Holzparenchym 425
Holzgefässe 427
Basttheil 429
Bastfasern 429
Parenchymzellen 433
Siebröhren 434
Strahlengewebe 435
Innerhalb des Gefässbündels auftretende, Luft oder eigenthümliche Säfte führende Canäle und Gänge 438
Rückblick auf die Untersuchungen über Gefässbündel 441

Dritter Abschnitt.

Untersuchungen über den Bau der vegetativen Organe der Stengelpflanzen.

Erstes Capitel.

Bau des Stengels.

I. Stengel der Moose 445
1. Stengel der Lebermoose 445
Laubartige Lebermoose 445
Beblätterte Lebermoose 447

Digitized by Google

Seite
2. Stengel der Laubmoose 448
Moose ohne Gefässbündelstrang 448
Moose mit centralem Gefässbündelstrange 449
Moose mit ringförmigem Gefässbündel 450
II. Stengel und Stamm der Gefässkryptogamen 452
1. Stengel der Schachtelhalme 452
2. Stengel der Bärlappgewächse 457
3. Stamm der Farnkräuter 459
4. Wurzelstock und Fruchtstiel der Rhizocarpeen 461
III. Stamm und Blüthenschaft der Monokotyledonen 462
IV. Stamm der Dikotyledonen und Nadelhölzer 467

Zweites Capitel.

Bau der Wurzel.

I. Wurzel der Kryptogamen 474
1. Wurzel der Schachtelhalme 475
2. Wurzel der Bärlappgewächse 475
3. Wurzel der Farnkräuter 476
4. Wurzel der Rhizocarpeen 477
II. Wurzel der Phanerogamen 478
1. Wurzel der Monokotyledonen 478
2. Wurzel der Dikotyledonen 481

Drittes Capitel.

Bau des Blattes.

1. Das Blatt der Moose 486
Das Blatt der Lebermoose 486
Das Blatt der Laubmoose 486
2. Das Blatt der Gefässkryptogamen 488
A. Das Blatt der Schachtelhalme 488
B. Das Blatt der Bärlappgewächse 489
C. Das Blatt der Farnkräuter 490
3. Das Blatt der Gymnospermen 491
A. Das Blatt der Cycadeen 491
B. Das Blatt der Nadelhölzer 495
4. Das Blatt der Monokotyledonen 501
5. Das Blatt der Dikotyledonen 507

Vierter Abschnitt.

Untersuchungen aus der Entwickelungsgeschichte.

Erstes Capitel.

Entwickelung einzelner Gewebetheile.

I. Hautgewebe 514
1. Entwickelung der Spaltöffnungen 514
2. Entstehung des Korkgewebes 517

zed by Google

Seite

II. Grundgewebe . . . 521
Entwickelung der Secretbehälter . . . 521
a) Schizogene Secretbehälter . . . 521
b) Lysigene Secretbehälter . . . 527
III. Gefässbündel . . . 528
1. Geschlossene Gefässbündel . . . 528
A. Kryptogamen . . . 528
B. Monokotyledonen . . . 532
2. Fortwachsende Gefässbündel . . . 532
3. Entwickelung der Secretbehälter des Gefässbündels . . . 537
a) Schizogene Harz-, Oel- und Gummigänge . . . 537
Harzgänge . . . 537
Oel-, Gummiharz- und Gummigänge . . . 542
b) Lysigene Secretbehälter . . . 542
Harzgänge . . . 543
Gummigänge . . . 543

Zweites Capitel.

Entwickelung der Zellwand.

I. Entstehung der Verdickungsschichten . . . 546
Dreischichtige Zellwände . . . 546
Mehrschichtige Zellwände . . . 553
II. Entstehung der Verdickungsformen . . . 557
1. Entstehung der spiraligen und netzförmigen Verdickung . . . 557
2. Entstehung der behöften Poren . . . 562
III. Entstehung der Intercellularsubstanz . . . 570

Drittes Capitel.

Entstehung und Wachsthum der Stärkekörner.

Beziehung der Entwickelung zu Form u. s. w. der Protoplasten . 576
Entwickelungsgeschichte . . . 580
Einfache Stärkekörner . . . 580
Mehrgliedrige (complexe) u. mehrbrüdrige (adelphische) Stärkekörner . . . 585
Lösungserscheinungen . . . 585
Wachsthum durch Apposition oder Intussusception . . . 588

Viertes Capitel.

Entstehung der Pflanzenzellen.

I. Kerntheilung . . . 591
1. Mittelbare Kerntheilung (Karyokinese) . . . 592
A. Kerntheilung im Wandbelege der Embryosäcke . . . 592
B. Kerntheilung bei Entstehung der Pollenmutterzellen . . 596
2. Unmittelbare (directe) Kerntheilung . . . 602

zed by Google

Seite
II. Zellbildung 605
1. Freie Zellbildung 605
Verbreitung und Arten der freien Zellbildung . . . 605
A. Vielzellenbildung 606
a) Zellbildung im Embryosack 606
b) Entstehung der Schwärmsporen von Pilzen und Algen 608
c) Entstehung der Ascosporen der Pilze 609
B. Vollzellbildung 611
a) Entstehung der Keimzelle der Moose u. s. w. . . . 612
b) Entstehung der Pollenkörner und Vierlingssporen . . 613
2. Zelltheilung 616
A. Zweitheilung 616
Zelltheilung von Ulothrix 616
Zelltheilung von Cladophora 622
Zelltheilung der Oedogonien 625
Entstehung der monokotyledonen Pollenmutterzellen 629
Zelltheilung im Embryosack und in den vegetativen Geweben der höheren Gewächse 632
B. Viertheilung 632
Entstehung der dikotyledonen Pollenmutterzellen . . 632
Entstehung der Sporenmutterzellen der höheren Kryptogamen 635
3. Zellverschmelzung 638

Erklärung der Tafel-Abbildungen 640
Alphabetisches Sachregister und Figurenverzeichniss des zweiten Theiles 645

zed by Google

Erster Abschnitt.

Untersuchungen über den Bau der Zelle (Topographie der Zelle).

Erstes Kapitel.

Allgemeine Gestaltung der Zelle und ihres Inhaltes.

Die Pflanzenzelle in ihrer Ausgestaltung als Dauerzelle betrachtet, stellt einen abgegrenzten, in gewisser Beziehung selbständigen, der Ernährung und Vermehrung fähigen Organismus vor, an dem folgende wesentliche Theile (Fig. 1) zu unterscheiden sind:

Fig. 1.

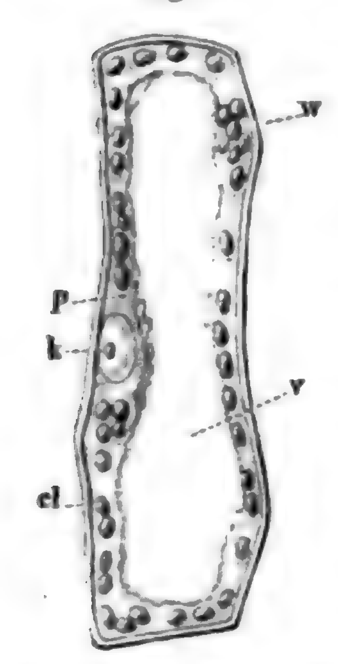


Fig. 1. Zelle aus dem Blattparenchym von Vallisneria spiralis. *w* Zellwand, *p* Protoplasma mit Kern *k* und Protoplasten *cl*, *v* Zellsaftraum. Vergr. 1 : 660.

1. Die verhältnissmässig starre, als Schutzorgan zu betrachtende Zellwand *w*.

2. Der allseitig von einer Plasmahaut, der Zellhaut, begrenzte, sich in Zellkern *k*, eine Grundsubstanz, das Protoplasma *p* nebst den in diesem eingebetteten thätigen Inhaltsbestandtheile: die „Protoplasten" *cl* gliedernde, ausserdem eine Reihe gelöster und geformter Inhaltsbestandtheile (Reserve- und Baustoffe) einschliessende lebendige Zellkörper.

3. Der von dem Zellkörper um- (in sogenannte Vacuolen einge-)schlossene Zellsaft *v*.

Ausser den genannten, für die Lebensthätigkeit der Pflanze bedeutsamen Inhaltskörpern finden sich in der Zelle noch eine Anzahl von geformten Ausscheidungsproducten, die zum grossen Theil in den Zellsafträumen (Vacuolen) eingeschlossen sind, und von denen wir die häufiger vorkommenden ebenfalls kennen lernen müssen.

Zur Beobachtung der Zellbestandtheile können einestheils freie, oder aus ihrem Verbande gelöste Zellen, wie jene aus dem Frucht-

Digitized by Google

fleische der Himbeere, der Kirsche, der Schneebeere dienen, anderentheils gewähren lebenskräftige Haarzellen, sowie Querschnitte aus jugendlichen, etwas grosszelligen Geweben recht belehrende Bilder.

Das Zellenbild zeigt indessen nicht immer die betrachtete Ausgestaltung und Gliederung. Gewisse Zellen, so diejenigen wachsender Achsentheile dicht unter dem Vegetationspunkte, ganz junge Haargebilde und dergleichen ermangeln der Zellsafträume, andere, wie die Schwärmsporen der Algen und Pilze, die Schwärmfäden (Spermatozoiden) der ersteren, der Lebermoose, Moose und höheren Kryptogamen, die Keimzellen sämmtlicher Gewächse, endlich die jüngsten Zustände jugendlicher Pollenzellen in den durch Viertheilung entstandenen pollenbildenden (Specialmutter-)Zellen, welche sich bei ihrer Weiterentwickelung in Dauerzellen umwandeln, auf der hier ins Auge zu fassenden Entwickelungsstufe aber als Primordialzellen (nackte Zellen der Autoren) bezeichnet werden mögen, besitzen ausserdem keine Zellwand und werden bloss durch die Plasmahaut des Zellkörpers nach aussen abgegrenzt.

Fig. 2.

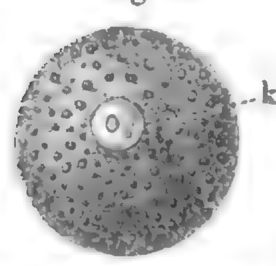


Fig. 2. Eben entstandene, nur von der Zellhaut umkleidete Pollenzelle. Vergr. 1 : 660.

Ein instructives Bild der Primordialzelle gewähren vorzugsweise die Keimzellen der höheren Kryptogamen und Phanerogamen und die jugendlichen Pollenzellen (Fig. 2), von denen das Freilegen der ersteren eine schon geübte Hand erfordert, während man die primordialen Pollenzellen leichter gewinnt. Querschnitte, durch die jungen Antheren geführt, liefern in der Regel hinreichendes Material. Um die passende Entwickelungsstufe aufzufinden, lässt sich keine allgemeine Regel aufstellen. Man wird mit den betreffenden Schnitten immer bei den jugendlicheren Knospen anfangen und zu immer älteren übergehen müssen, bis man eben das erforderliche Präparat erlangt. Am besten geeignet für diese Untersuchung sind die traubenartigen Blüthenstände, weil man bei ihnen alle Entwickelungsstufen der Antheren und der innerhalb derselben stattfindenden Neubildungen neben einander findet.

Da die Primordialzellen eine sehr zarte, gegen äussere Einflüsse äusserst empfindliche Membran besitzen, und in Folge der stattfindenden Endosmose häufig schon in dem Wasser des Objectträgers platzen, oder doch ihre Form bis zur Unkenntlichkeit verändern, ist es gerathen, dieselben in eine Flüssigkeit zu bringen, welche mit ihrem Inhalte etwa gleichen endosmotischen Exponenten hat. Am passendsten hierzu sind sehr verdünnte Lösungen von Zucker oder Gummi (1 Thl. auf 50 bis 200 Thle. Wasser), das Jodserum und die demselben analoge Eiweisslösung (H., S. 696 u. f.; G., S. 311 u. f.[1]). Zur Aufbewahrung der einschlägigen Präparate eignet sich die im Handbuche, S. 1011, in den

[1]) Mit „H." wird auf das Handbuch, mit „G." auf die Grundzüge der allgemeinen Mikroskopie verwiesen.

Digitized by Google

Grundzügen, S. 507, empfohlene Methode, wenn sie mit gehöriger Vorsicht angewendet wird, vortrefflich.

Hat man sich einen Ueberblick über die Hauptbestandtheile der Zelle verschafft, dann schreitet man zur näheren Untersuchung jener ersteren selbst.

I. Die Zellwand.

Die Zellwand (Zellstoffhülle, Zellhülle, meiner früheren Bezeichnungsweise, Zellhaut, Zellmembran der Autoren) ist das Product chemischer, im Inneren des Zellkörpers vor sich gehender Processe und dazu bestimmt, dem letzteren als schützende Umhüllung zu dienen. Während der Kern, der Zellkörper, sammt seinem bildungs- und umbildungsfähigen Inhalt, somit die eigentlich lebendige vegetabilische Zelle, sowie der Zellsaft nach der Erreichung eines gewissen Ausbildungszustandes und nach der Vollendung bestimmter, nur ihnen angehöriger Lebensthätigkeiten der Auflösung verfallen, bleibt die Zellwand oft Jahre und Jahrhunderte lang erhalten und wird dann noch immer als „Zelle" bezeichnet.

Die Zellwand erleidet im Laufe ihrer Ausbildung mancherlei durch Wachsthum, Neubildungen und chemische Vorgänge veranlasste Umgestaltungen. Wir werden über diese verschiedenseitigen Resultate des Zellenlebens im nächsten Kapitel zu handeln haben. Hier beschäftigt uns zunächst nur die Zellwand auf der Stufe der Entwickelung, auf der sie in vollständig abgeschlossener Ausgestaltung als primäre Zellwand (primäre Membran der Autoren) erscheint.

Zum Studium derselben eignen sich wiederum am besten die freien Zellen. Weniger instructiv, mit Ausnahme etwa der in Zelltheilung begriffenen Fadenalgen, sind die jugendlichen Gewebe, indem einestheils der Zusammenhang mit den Nachbarzellen, sowie der meist stark getrübte Inhalt die Beobachtung bedeutend erschweren, anderentheils die erste über dem Zellkörper abgeschiedene Hülle, wie wir weiter unten sehen werden, nicht zur Zellstoffwand im engeren Sinne wird, sondern anderweitige Umbildung erleidet und als ein eigenartiger Bestandtheil der Gewebe erscheint. Nur für einen bestimmten Zweck, d. h. für die Erkenntniss des Vorhandenseins oder Fehlens von Streifung, Durchlöcherung u. s. w. bieten uns die aus ihrem Verbande gelösten Gewebeelemente ihr Längenwachsthum noch nicht vollendet habender Sprossinternodien (am besten von Sträuchern oder Stauden mit gegenständigen Blättern, z. B. Clematis u. dergl.) ein geeignetes Beobachtungsmaterial.

Optisches Verhalten der Zellwand. — Sobald die primäre Zellwand, die ich nach meinen Beobachtungen keineswegs als aus der Umwandlung einer gleichartigen (homogenen) Protoplasmaschicht, noch weniger

aber mit Wiesner als aus der Umwandlung der Kleinkörperchen (Mikrosomen) des Protoplasmas in Zellwandkörperchen („Dermatosomen") hervorgegangen ansehen kann, sondern auch heute noch als eine aus flüssigem Zellstoff entstandene Niederschlagshaut betrachten muss, über dem Zellkörper abgeschieden und in mehr oder minder festen Zustand übergegangen ist, macht sich dieselbe durch die doppelte Begrenzungslinie kenntlich, die unter passenden Vergrösserungen von mindestens 300- bis 400mal immer deutlich zum Vorschein kommt (Fig. 1 *w* u. 3).

Zu dem optischen Nachweise des frühesten Auftretens der Zellwand ist sonach eine geschickte und geeignete Steigerung der Vergrösserung erforderlichen Falles unter Zuhülfenahme der Färbung das einzige Mittel.

Fig. 3.

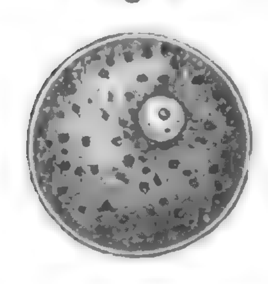


Fig. 3. Junge Pollenzelle mit Primärwand. Vergr. 1 : 660.

Wo man diesen zu führen hat, da darf von vornherein nicht eine zu schwache Vergrösserung angewendet und muss dieselbe erforderlichen Falles soweit möglich gesteigert werden, um sich auf das Sicherste von dem Vorhandensein der doppelten Umgrenzung zu überzeugen. Zu Färbungen verwendet man am besten Congoroth oder (nach Dr. Noll) lösliches Berlinerblau. Das erstere kann in fast oder völlig gesättigter wässeriger Lösung Anwendung finden und färbt, während der Zellkörper keinen Farbstoff aufnimmt, nach längerer, bis 24stündiger Einwirkung die Zellwand roth, so dass sich dieselbe scharf abhebt. Das lösliche Berlinerblau lässt man am besten erst in der Zellwand entstehen. Man bringt zu dem Ende die Zellen in eine 0,2- bis 0,5proc. Lösung von Ferrocyankalium und nach Abspülen in destillirtem Wasser in eine gleich starke Eisenchloridlösung. Gleiche Resultate erzielt man durch eine ähnliche Behandlung mittelst Lösungen von Ferridcyankalium und milchsaurem Eisenoxydul (Turnbull's Blau). Die betreffenden Präparate stellt man her, indem man aufgebrochene Früchte der Schneebeere oder aber macerirte, noch zusammenhängende jugendliche Gewebemassen behandelt und dann erst mittelst der Nadel die Zellen isolirt.

Die Structur der Zellwand auf dieser Entwickelungsstufe, der man an isolirten Zellen, an Quer- und Längsschnitten zunächst seine Aufmerksamkeit zuzuwenden hat, wird sich bei einer genauen Untersuchung mittelst Vergrösserungen von der erwähnten und höherer Stärke bei freien Zellen stets als vollkommen gleichgebildet erweisen. Bei Geweben lässt sich auf dem Querschnitt keine Zusammensetzung aus einzelnen „Schichten" erkennen und auf dem Längsschnitte sind mit den später zu besprechenden Ausnahmen keine Durchlöcherung, vor allem aber keine verdünnte Stellen, d. h. Poren (Tüpfel der Autoren) wahrzunehmen, noch macht sich eine Streifung oder Faltung bemerkbar. Derartige Structurverhältnisse sind sämmtlich Erzeugnisse späterer Entwickelungsprocesse und lassen sich theilweise als den sogenannten Verdickungsschichten angehörig erweisen.

Digitized by Google

Um über dieses Verhalten völlig genügende Auskunft zu erlangen, bedarf es neben der Färbung, wozu sich ausser den betrachteten Mitteln je nach Umständen auch die auf S. 7 erwähnten Färbeflüssigkeiten, Jodlösung, Chlorzinkjodlösung, sowie die erstere in Verbindung mit Schwefelsäure empfehlen, auch des Studiums der Einwirkung quellender Mittel, der Schwefelsäure und des Kalis in verschiedenen Concentrationsgraden, des Kupferoxydammoniaks u. s. w.

Fig. 4.

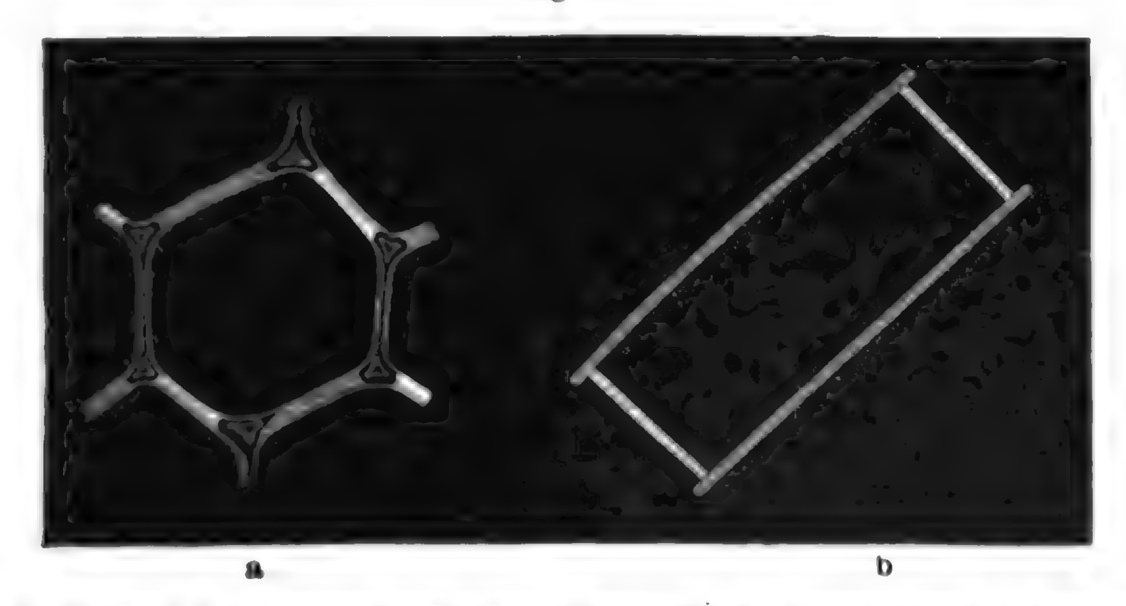


Fig. 4. *a* Quer-, *b* Längsschnitt einer jungen Markzelle von Clematis vitalba in polarisirtem Lichte. Vergr. 1 : 400.

Wo bei der Anwendung dieser Verfahrungsweisen auf dem Querschnitt concentrische dunkle Linien, auf dem Längsschnitt verdünnte Stellen, sei es in Form von Poren (Tüpfeln), sei es in Form von spiralig angeordneten Streifen, auftreten, da hat man es überall nicht mehr mit der primären Zellwand allein zu thun. Man muss dann zu jüngerem Untersuchungsmaterial greifen, also bei den Stengelpflanzen zu jüngeren Internodien emporsteigen, um die geeigneten Entwickelungszustände zu erhalten.

Bei der Beobachtung im polarisirten Lichte, und zwar bei gekreuzten Nicols, also in dunklem Sehfelde, zeigt die Primärwand folgendes, ihre doppeltbrechende Eigenschaft bekundendes Verhalten. Auf dem Querschnitt erscheinen unter 0° und 90° hingehende Wandstücke dunkel, unter + 45° und — 45° verlaufende, in ihrer Helligkeit nach ersteren hin sich abstufend leuchtend (Fig. 4a). Schaltet man ein Gypsplättchen Roth I. O. derart zwischen Polarisator und Object ein, dass seine Achse grösster Elasticität — und hierauf ist bei allen derartigen Beobachtungen genau zu achten — unter + 45° orientirt ist, so treten in der Zellwand unter + 45° Subtractionsfarben: Orange oder Gelb, unter — 45° Additionsfarben: Violett oder Blau, auf (Fig. I, 1 [1]). Die

[1]) Die mit römischen Ziffern bezeichneten Figurenhinweise beziehen sich durch diesen ganzen Band auf die Figuren der beigegebenen Tafeln, welche fortlaufend numerirt sind.

Digitized by Google

Längsansicht, welche man an jungen Haarzellen, Confervenfäden, feinen Längsschnitten gewinnt, deren Zellkörper durch Chloralhydrat aufgehellt wird, zeigt unter 45° orientirt auf dem optischen Durchschnitt der Wand diese in Weiss aufleuchtend, die Fläche nach dem Rande Schwarzgrau, Dunkelgrau, Blaugrau, schwach Weiss oder sie bleibt ohne bemerkbare Wirkung (Fig. 4 b). Auf dem verzögernden Plättchen beobachtet man unter + 45° an der Längswand und manchmal auf der Fläche — hier aber meist mit nur höchst schwacher Wirkung — Addition, unter — 45° an der Querwand Subtraction der Farben, während bei der Orientirung unter 0° oder 90° die Farbe des Gypsgrundes nicht verändert wird. Construirt man aus diesen Thatsachen die Durchschnitte des Elasticitäts-Ellipsoids für die in Betracht kommenden Ebenen, so ergiebt sich, dass die Achse der grössten Elasticität jedenfalls in der Längsachse, die kleinste in radialer, die mittlere in tangentialer Richtung dahingeht (Fig. 5 a, b und c) und die Mittellinie in dem radialen Längsschnitte liegt, dass aber der positive oder negative Charakter nicht bestimmt erscheint, da die Lage der optischen Achsen aus den gegebenen Thatsachen nicht zu ersehen ist. Vergleicht man indessen das geschilderte Verhalten der Primärwand mit demjenigen optisch einachsiger Körper, so kann man sie als verhältnissmässig optisch **n e g a t i v** bezeichnen (siehe H.,

Fig. 5.

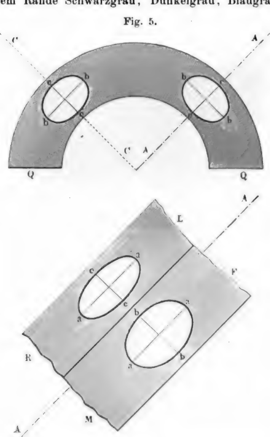


Fig. 5. Schematische Darstellung der Lage der Ellipsoiddurchschnitte (Ellipsen), welche in Querschnitt, Rand (optischem Längsschnitt) und Mitte (Fläche) der primären Zellwand zur Geltung kommen. *R(L)* Rand, *M(F)* Mitte, *Q* Querschnitt. *AA* grösste, *CC* kleinste Elasticitätsachse des Gypsblättchens. *aa* grösste, *bb* mittlere, *cc* kleinste Elasticitätsachse der Ellipsoidschnitte.

Digitized by Google

S. 942 u. f.; G., S. 461 u. f., sowie die am Schlusse der Literatur verzeichneten Werke).

Chemische Beschaffenheit der Zellwand. — Seiner chemischen Zusammensetzung nach besteht der Stoff, aus welchem die primäre Zellwand der höheren Gewächse auf der hier in Betracht kommenden Altersstufe aufgebaut ist, bei den weitaus meisten Gewächsen wohl der Hauptsache nach aus einem Kohlehydrat: dem Zellstoff (Cellulose), $C_6H_{10}O_5$.

Zur Ermittelung der chemischen Beschaffenheit der Zellwand, zu der man feine Quer- oder Längsschnitte verwenden kann, gewähren vorzüglich die wässerige Jodjodkaliumlösung, in Verbindung mit verdünnter Schwefelsäure, ebenso die zusammengesetzten Jodpräparate, wie Chlorzinkjodlösung, Chlorcalciumjodlösung (0,5 g Jodkalium und 0,1 g Jod werden in 10 ccm einer gesättigten Chlorcalciumlösung eingetragen, die Lösung nach schwachem Erwärmen von dem überschüssigen Jod mittelst Filtration durch Glaswolle getrennt und dunkel aufbewahrt Mangin); Jodphosphorsäure (in 25 ccm möglichst gesättigter, wässeriger Phosphorsäurelösung werden 0,5 g Jodkalium und einige Jodkrystalle eingetragen und schwach erwärmt Mangin), ferner das schwefelsaure Kupferoxyd in Verbindung mit Aetzkali, geeignete Erkennungsmittel.

Die Jodlösungen für sich bewirken, so weit bekannt, nur in einzelnen Fällen Blaufärbung, und zwar vorzugsweise dann, wenn man das Präparat in einem reichlichen Tropfen eintrocknen lässt und darauf befeuchtet.

Jodlösung und verdünnte Schwefelsäure (H., S. 699 u. f. und G., S. 314 u. f.) bewirken eine mehr oder weniger dunkle blaue Färbung der Zellwand. Die Anwendung beider Reagentien geschieht folgendermaassen: Zunächst wird das Präparat mit Jodlösung durchtränkt. Hat diese einige Zeit gewirkt, so nimmt man sie mittelst Fliesspapiers auf, giebt einen Tropfen verdünnter Schwefelsäure zu und deckt mit einem grossen Deckglase ein. Die blaue Färbung tritt in der Regel kurz nach der Einwirkung der Säure ein, verbreitet sich aber erst nach einiger Zeit über das ganze Präparat. Obgleich die Wirkung dieses Reagenses ziemlich sicher ist, so ist seine Anwendung doch nicht immer zu empfehlen, weil die Schwefelsäure stets mehr oder weniger zerstörend auf die junge Wand, namentlich zarter Gewebe, wirkt, und dann bei solchen die Färbung gerade nur während eines Augenblicks erscheint und dann rasch verschwindet, so dass sie unter Umständen der Beobachtung ganz entgehen kann. Im Allgemeinen empfehlen sich mehr die Chlorzinkjodlösung und die anderen zusammengesetzten Jodlösungen, welche nur bei ganz jungen Zellwänden, z. B. denen der eben entstandenen Tochterzellen der Fadenalgen (Cladophora, Oedogonium u. s. w.), öfter eine Schrumpfung hervorbringen, jedoch selten eine rein blaue, sondern eine mehr oder weniger röthlichblaue bis violette Färbung hervorrufen.

Digitized by Google

Schwefelsaures Kupferoxyd (Kupfersulfat) in Verbindung mit Aetzkalilösung (H., S. 705 u. 709; G., S. 319 u. 322) bewirken nach Sachs eine, wenn auch gerade nicht sehr intensive Blaufärbung der unveränderten Zellwand. Man bringt bei deren Verwendung das Präparat zuerst in eine Lösung des ersteren und lässt es darin längere Zeit bis einige Stunden verweilen, um es dann herauszunehmen und sorgfältig auszuwaschen, bis keine Spur des Salzes mehr mechanisch anhaftet. Hierauf überträgt man in ein Schälchen mit Aetzkalilauge und beobachtet in einem Tropfen der letzteren oder in Wasser. Erwärmen bis zum Kochen erhöht die Färbung meist um etwas und ist auch insofern von Vortheil, als es dazu dienen kann, den Beobachter davon zu überzeugen, dass die Bläuung der Zellwände nicht von mechanisch anhaftendem Kupfersulfat und demzufolge von entstandenem Kupferoxydhydrat herbeigeführt ist, indem das letztere durch dieses Verfahren sofort in schwarzes Kupferoxyd übergeführt werden würde.

Ausser obigen Mitteln versuche man aber auch die Wirkung von Färbeflüssigkeiten, der concentrirten Schwefelsäure, der Alkalien sowie des Kupferoxydammoniaks. Wenn man auch mittelst dieser Reagentien nicht gerade neue Resultate erreichen sollte, so werden doch die durch erstere erlangten controlirt und gefestigt.

Die oben schon besprochenen Färbungen mittelst Congoroth und löslichem Berlinerblau zeigen (ersteres jedoch nicht immer) das Vorhandensein der aus reinem Zellstoff bestehenden primären Zellwand an. Ausserdem wird dieselbe auch — allerdings neben dem Zellkörper — durch Alauncarmin (H., S. 448 und G., S. 330) roth, nach Mangin durch eine Anzahl von Azofarbstoffen, und zwar in wässerigen Lösungen und neutralem oder schwach saurem Bade von Orseilleroth A, Orseillin BB blassrosenroth, von Azorubin blasscarmesinroth, von Naphtolschwarz hellblauschwarz, in schwach alkalischem Bade von Benzo-Purpurin hellkorallenroth, von Azoblau und Benzoazurin hellviolett gefärbt. Dagegen deutet die Färbung der Primärwand mittelst einer Reihe wässeriger Lösungen von künstlichen Farbstoffen aus den Reihen der Azoverbindungen, der Di- und Triphenylmethane, der Oxazine, der Thionine, der Eurhodine, der Safranine sowie mittelst Rutheniumroth, welche bei Zellwänden aus reinem Zellstoff ausbleibt, nach Mangin auf das Vorhandensein von — nach ihm an dem Aufbau der betreffenden Zellwände als Grundstoffe theilnehmenden — unlöslichen Pectinstoffen (beziehungsweise Pectose), welche bei den verschiedenartigsten Pflanzen eine weite Verbreitung besitzen sollen, während aus reinem Zellstoff aufgebaute Wände nur selten, z. B. bei Samenhaaren, dem Weichbaste mancher Monocotylen und manchen unverholzten Bastfasern vorkommen. [Auch die von Giltay und van Tieghem (in Traité de Botanique, 2. Ausg., S. 559) empfohlenen, angeblich reinen Zellstoff anzeigenden Färbungen mittelst Hämatoxylinlösung, welche übrigens auch reine Zellstoffwände blassviolett färbt, Anilinbraun (Bismarck-

Digitized by Google

braun. Vesuvin) und Cyanin werden auf diese Stoffe zurückgeführt und ebenso dürfte die von Zimmermann (in Bot. Mikrotechnik, S. 139) erwähnten mittelst Anilin- und Methylblau, welche reinen Zellstoffwänden eine blassblaue Färbung ertheilen, derart zu deuten sein.]

Zum Nachweise der in der Zellwand enthaltenen Pectinstoffe, beziehentlich der Pectose, empfiehlt Mangin namentlich Safranin, Methylenblau, Nachtblau, krystallisirtes Naphtylenblau und neuerdings Rutheniumroth. Zunächst taucht man die zur Färbung bestimmten Schnitte in 1 proc. oder auch 3 proc. Essigsäure und wäscht in letzterem Falle mit Wasser aus. Hierauf bringt man dieselben in eine Lösung der genannten Farbstoffe. Safranin färbt eine pectinhaltige Zellwand gelborange, die beiden ersten Blau blauviolett, das dritte rothviolett, das Rutheniumroth [in 0,01 proc. bis 0,03 proc. wässeriger, in schwarzem Glase aufzubewahrender Lösung (bei dessen Anwendung Kali und Eau de Javelle als Aufhellungsmittel zu vermeiden sind)] hellcarminroth. Eine tiefschwarze Färbung erhält man, wie ich mich überzeugt habe, auch nach der von van Tieghem und Douliot empfohlenen Methode, wenn man frische oder durch Eau de Javelle und Kalilauge aufgehellte und sorgfältig ausgewaschene Schnitte 1 bis 5 Minuten lang in eine verdünnte Tanninlösung einlegt und hierauf rasch in eine sehr verdünnte Eisenchloridlösung taucht. Diese Färbungen lassen sich, mit Ausnahme der durch Rutheniumroth sowie durch Tannin und Eisenchlorid hervorgebrachten, für in Canadabalsam einzuschliessende Dauerpräparate geeigneten, mittelst Essigsäure, Milchsäure, Glycerin und Alkohol wieder entfernen. Ein weiteres, zur Controlle geeignetes Verfahren besteht in Folgendem: Man behandelt mindestens eine unverletzte Zellenlage besitzende Schnitte mehrere Tage lang mit alle 24 Stunden gewechseltem Kupferoxydammoniak und wäscht mit Wasser und 3 proc. Essigsäure aus. Der Zellstoff tritt dabei aus den Wänden aus und erfüllt die Zell- und eventuell die Intercellularräume in Gestalt einer gallertartigen Masse, während das Wandgerüst zurückbleibt. Die gallertartige Masse wird nun durch eine der zusammengesetzten Jodlösungen satt blau gefärbt, die Zellwände bleiben dagegen ungefärbt oder nehmen einen blassgelblichen Ton an. Werden die Schnitte hierauf ausgewaschen und mit den obigen Färbeflüssigkeiten behandelt, so färbt sich das Wandgerüst tief in den beschriebenen Farbentönen, während, wenn man auf andere ausgewaschene Schnitte einige Tropfen Ammoniumoxalat bringt, dessen allmälige Lösung unter dem Mikroskop beobachtet werden kann. Löst man dem entgegen durch aufeinanderfolgende Behandlung mit verdünnter Salzsäure und Kalilauge die Pectinstoffe aus den Zellwänden, so unterbleiben die den ersteren eigenen Reactionen, während die letzteren diejenigen des reinen Zellstoffes geben.

Ausser den Pectinstoffen hat Mangin in den Zellwänden von Lagerpflanzen und verschiedenen Phanerogamen, und zwar bei diesen namentlich

in solchen, welche verflüssigt werden sollen, wie z. B. bei den Pollenmutterzellen, den Pollenschläuchen, einen, dem den sogenannten Callus der Siebplatten bildenden gleichen, von ihm Callose benannten Stoff aufgefunden. Die Callose ist unlöslich in Wasser, Alkohol und Kupferoxydammoniak, dagegen leicht löslich in 1 proc. Lösung von Aetznatron oder Aetzkali, in concentrirter Schwefelsäure, sowie in gesättigten Lösungen von Chlorcalcium und Zinnchlorid. Von den die reinen Zellstoffwände färbenden Flüssigkeiten wird sie nicht, dagegen von Corallin (in 25- bis 30 proc. Natriumcarbonatlösung gelöst) in kurzer Zeit, von Anilinblau (verdünnte wässerige Lösung) nach etwa 1/2 Stunde stark gefärbt. Möglicherweise beruht auf dem Vorhandensein von grösseren Mengen der Callose das abweichende Verhalten der aus sogenannter Pilzcellulose bestehenden Zellwände der Pilze, welche sich meist mit Jod und Schwefelsäure oder Chlorzinkjod gelb oder braun färben und in Kupferoxydammoniak unlöslich, dagegen nach W. Hoffmeister wenigstens zum Theil in concentrirter Salzsäure und Natronlauge löslich sind. Inwieweit der Zellstoff und beziehentlich die Callose an dem Aufbau der Zellwände der Pollenmutterzellen u. s. w. und etwa auch der Wände der Cambiummutterzellen betheiligt sind, das kann gegebenen Falles durch Behandlung der betreffenden Objecte mittelst der Lösungsmittel der Callose und nachfolgender entsprechender Färbung ermittelt werden.

Concentrirte Schwefelsäure löst die primäre Zellwand unter anfänglich starkem Aufquellen schon bald vollständig auf. In concentrirten Lösungen des Aetzkalis und Aetznatrons quellen die Zellwände mehr oder minder auf, während Kupfer- und Nickeloxyd-Ammoniak unter sich nach und nach steigernder Quellung schliesslich theilweise oder — beim Aufbau aus reinem Zellstoff — vollständige Lösung bewirken.

Bringt man die ganz junge, schon eine doppelte Contour zeigende, aber auf das polarisirte Licht nicht wirkende cambiale Zellwand geschlossener Gewebe etwa auf einem recht dünnen Querschnitte durch die Cambialregion von *Pinus silvestris* oder auch von einer Laubholzart (Pappel, Weide, Ahorn u. s. w.) während des regen Wachsthums mit Chlorzinkjodlösung, oder Jod- und Schwefelsäure in Berührung, so bleibt dieselbe ebenso, wie nach Einwirkung der genannten, den Bestand aus reinem Zellstoff anzeigenden Färbeflüssigkeiten, ungefärbt, ebenso wenig ertheilen ihr die weiter unten für die Proteïnstoffe empfohlenen Reagentien eine Färbung. Dagegen wird sie von Hämatoxylin und den die Anwesenheit von Pectinstoffen kundgebenden Mitteln in gleichem Ton, wie diese, gefärbt. Aetzkali sowie Kupferoxydammoniak lösen dieselbe auf. Wir sehen damit zwischen den den Zellkörper einschliessenden jugendlichen Wänden, d. h. zwischen Primär- und Cambialwand, einen Unterschied in Bezug auf ihren chemischen Aufbau auftreten, der uns später noch näher beschäftigen wird. Ich schloss früher aus dem geschilderten Verhalten, dass wir es bei dieser Wandbildung mit einer die-

Digitized by Google

selbe aufbauenden Verbindung zu thun haben, welche eine Uebergangsstufe zwischen Dextrin und Zellstoff bildet, etwa Bassorin vorstelle, was auch von Wigand vermuthet wurde. (Pringsheim's Jahrbücher, Bd. III, Heft 1, S. 115 u. f.) Nach den Untersuchungen von Mangin und meinen eigenen neueren Beobachtungen, wonach dieselbe — und zwar auch noch in späteren Entwickelungszuständen — in den beschriebenen Tönen gefärbt wird, besteht dieselbe jedoch aus einem Pectinstoffe, beziehentlich (nach Mangin) aus Pectinsäure.

Die jugendliche, noch unverholzte Primärwand kann in manchen Fällen von festen und gelösten fremden Stoffen — möglicherweise auch von gelösten Eiweissverbindungen — mechanisch durchdrungen werden, ohne dass ihre besonders kennzeichnende Reaction auf die zusammengesetzten Jodlösungen, Chlorzinkjod u. s. w., wie auf Jod und Schwefelsäure dadurch aufgehoben erscheint; dies beweisen u. A. die von Wiesner zuerst, dann auch von Krasser, Klebs und A. Fischer beobachteten Färbungen mittelst Millon'schem Salz und Alloxan (rosa bis schwarzroth), Jod, Salpetersäure (goldgelb, gelb). Gedachte Färbungen, zu deren Nachuntersuchung man frische und in Wasser ausgekochte Schnitte aus ganz jungen und in der Entwickelung begriffenen Blättern von *Bilbergia amoena*, *Aechmea discolor*, *Hohenbergia strobilacea*, dann aus jungen Internodien von *Zea mays*, *Elodea canadensis*, *Ceratophyllum demersum*, *Najas major* verwendet, werden von den beiden erstgenannten Autoren als Beweis für die Wiesner'sche, hier nicht näher zu erörternde Hypothese von dem Aufbau der als lebendes Gebilde betrachteten Zellwand aus durch Protoplasma vereinigten Hautkörperchen (Dermatosomen) angesehen. Dagegen behaupten Klebs und Fischer, dass diese — zudem in den jüngsten Entwickelungszuständen angeblich ausbleibenden — Färbungen, welche einerseits von denen der Eiweissstoffe abweichen (Millon'sches Salz färbt diese ziegel- bis fleischroth), sowie auch durch andere Stoffe, u. A. durch Vanillin, Tyrosin, Asparagin, hervorgerufen werden können und denen anderseits entsprechende Reactionen der übrigen Reagentien auf Eiweissstoffe und Protoplasma nicht zur Seite stehen, unter keinen Umständen auf das Vorhandensein des letzteren in der Zellwand gedeutet werden können.

H. v. Mohl: Einige Beobachtungen über die blaue Färbung der vegetabilischen Zellmembran durch Jod. Flora 1840. Vermischte Schriften 1846.
Schleiden: Grundzüge, 1. und 4. Auflage.
Mulder: Physiologische Chemie. Braunschweig 1846 bis 1851.
H. v. Mohl: Die vegetabilische Zelle. Braunschweig 1850.
Schacht: Die Pflanzenzelle, 1852, und Lehrbuch der Anatomie und Physiologie. Bd. I, 1856.
Pringsheim: Untersuchungen u. s. w.
Dippel: Beiträge zur vegetabilischen Zellenbildung. Leipzig 1858.
Hofmeister: Die Lehre von der Pflanzenzelle. Leipzig 1867.
Nägeli und Schwendener: Das Mikroskop. 1. und 2. Auflage, 1867 und 1877.

Digitized by Google

Reinke: Untersuchungen über die Quellung einiger vegetabilischer Substanzen in Hanstein's Botanischen Abhandlungen. Bd. 4. Bonn 1879.

Giltay: Ueber das Verhalten von Hämatoxylin gegen Pflanzenmembranen. Sitzungsber. d. K. Akad. d. Wissensch. in Amsterdam 1883.

Wiesner: Untersuchungen über die Organisation der vegetabilischen Zellhaut. Sitzungsb. der K. Ak. d. W. z. Wien, Bd. 93, I, 1886, Referat über die Abhandlung von Krasser: Biol. Centralbl. 1887, zur Eiweissreaction und Structur der Zellmembran. Ber. d. Bot. Gesellsch. Bd. VI, Heft 1, 1888 und über den Nachweis der Eiweisskörper in den Pflanzenzellen. Ebendas. Bd. VI, Heft 5, 1888.

Krasser: Untersuchungen über das Vorkommen von Eiweiss in der pflanzlichen Zellhaut u. s. w. Ebendas. Bd. 94, I, 1887.

Klebs: Referat über Wiesner's Abhandlung, Biol. Centralbl. 1886 und einige Bemerkungen zu der Arbeit von Krasser u. s. w. Bot. Ztg. 1887, Nr. 43.

A. Fischer: Zur Eiweissreaction der Zellmembran in Ber. d. Bot. Gesellsch. Bd. V, Heft 2, 1887 und Bd. VI, Heft 3, 1888.

Van Tieghem et Douliot: Recherches comparatives sur l'origine des membres endogènes. Ann. d. sc. natur. Bot. Sér. VII, Bd. 8, S. 5, 1888.

Mangin: 1) Sur les reactifs jodés de la cellulose. Bull. de la soc. de bot. de France Bd. 35, S. 421, 1888. 2) Sur la constitution de la membrane des végèteaux. Comptes rendus Bd. 107, S. 144, 1888. 3) Sur la callose, nouvelle substance fondamentale dans la membrane. Ebendas. Bd. 110, S. 664, 1890. 4) Sur la présence des composés pectiques dans les végèteaux. Ebendas. Bd. 109, S. 579, 1889. 5) Sur les reactifs colorants des substances fondamentales de la membrane. Ebendas. Bd. 111, S. 120, 1890. 6) Observations sur la membrane cellulosique. Comptes rendus Bd. 113, S. 1069, 1891. 7) Observations sur la présence de la callose chez les Phanérogames. Bull. de la soc. d. bot. de France Bd. 39, S. 260, 1892. 8) Propriétés et réactions des composés pectiques. Journ. d. bot. 1892, S. 206, 235 und 363 u. f. 9) Sur l'emploi du rouge de ruthénium en anatomie végétale. Compt. rend. Bd. 116, S. 653, 1893.

Gilson: La cristallisation de la cellulose et la composition chimique de la membrane cellulaire végètale. La Cellule Bd. IX, S. 397, 1893.

Siehe ferner weiter unten Kap. 2: Umbildung der Zelle, sowie die Lehrbücher der Botanik von Schleiden, Unger, Sachs, Wiesner u. A.

II. Der lebendige Zellkörper.

Bei den Beobachtungen über den Zellkörper hat man die einzelnen Bestandtheile desselben, sowie die von ihm eingeschlossenen Gebilde gesondert zu betrachten, indem man zunächst Zellhaut, Protoplasma und Zellkern, dann die thätigen Plasmakörper, endlich die verschieden geformten Reservestoffe und andere Inhaltsbestandtheile gesonderter Untersuchung unterwirft.

1. Die Zellhaut.

Als einen wesentlichen, denselben nach aussen gegen die Wand der Zelle, bei nackten Zellen gegen deren Umgebung abgrenzenden Bestandtheil des Zellkörpers hat man die Plasmahaut (Primordialschlauch, v. Mohl), die ich auch jetzt noch, und zwar im Gegensatz zu

Digitized by Google

der starren Hülle, d. h. der Zellwand, als Zellhaut bezeichnen will, ins Auge zu fassen.

Als physiologisch zu trennenden Bestandtheil des Zellkörpers giebt sich die Zellhaut durch ihr maassgebendes Verhalten bei den Vorgängen der Diosmose zu erkennen, während dieselbe, wie wir weiter unten sehen werden, wenn auch in gewissem Maasse verschieden, nach ihrem chemischen Aufbau noch nicht völlig von dem Protoplasma getrennt werden kann und optisch nicht unter allen Umständen mit voller Sicherheit nachweisbar ist.

Zur Beobachtung der Zellhaut eignen sich am besten die sogenannten nackten, d. h. wandlosen Zellen, über deren Vorkommen bereits gesprochen wurde. Man hat dieselbe aber ausserdem auch, und zwar an geeigneten Schnitten, in solchen Zellen kennen zu lernen, welche eine Zellwand besitzen, wozu es dann allerdings einer vorausgehenden Behandlung bedarf, durch welche die erstere von der letzteren getrennt wird. Da nämlich die Plasmahaut so fest an der Zellwand anliegt, dass ihre Contour mit der inneren Contour dieser letzteren verschmilzt, so ist sie als optisch unterscheidbarer Bestandtheil an und für sich nicht wahrzunehmen. Am einfachsten bewirkt man die Isolirung durch Plasmolyse mittelst der sogenannten endosmotischen Mittel: Zuckerlösung, Kochsalzlösung, wässerige Jodlösung u. dergl. Um aber bei diesem Verfahren alle Störung in den übrigen Inhaltselementen, sowie eine zu bedeutende Gestaltsveränderung der primordialen Membran möglichst zu vermeiden, ist es gerathen, jene Lösungen in verschiedenen Graden der Verdünnung wirken zu lassen. Man beginnt dabei mit einer sehr verdünnten Lösung und schreitet erst dann zu einer stärkeren, wenn man mittelst ersterer den gewünschten Erfolg nicht erreicht.

Fig. 6.

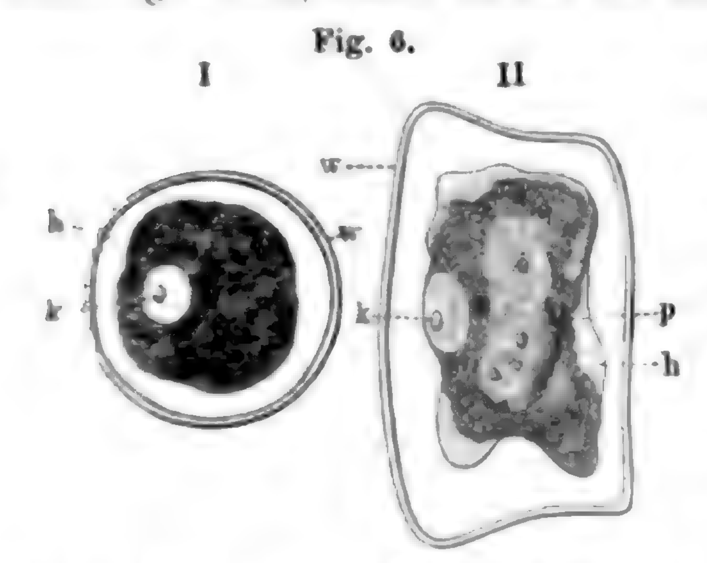


Fig. 6. I junges Pollenkorn, II Parenchymzelle aus der Rinde von Nerium Oleander. In beiden der Zellkörper von der Zellwand w zurückgezogen. h Zellhaut, p Protoplasma, k Kern. Vergr. 1 : 670.

Bei möglichst vorsichtiger Anwendung der genannten Reagentien wird sich dann der Zellkörper in Form eines allseitig geschlossenen, scharf begrenzten, innerhalb der Zellwand liegenden Säckchens zeigen, welches die anfängliche Gestalt nahezu beibehalten, bis weniger oder mehr verändert hat (Fig. 6).

In Bezug auf das optische Verhalten ist hauptsächlich auf die Stärke ihrer Contour, welche besonders dann deutlich hervortritt, wenn sich unter bisweilen eintretenden günstigen Umständen das Protoplasma an einzelnen Stellen von der Zellhaut etwas ablöst, nach dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntnisse immer einfach erscheint, zu achten, und wird

Digitized by Google

man dieselbe je nach der Zartheit der Membran bald stärker, bald äusserst fein und glatt, hier und da wohl auch anscheinend körnig gezeichnet finden. Letzteres Verhalten ist indessen, wie man sich durch geschickte Verwendung der Beleuchtung u. s. w. überzeugen kann, nicht in der Beschaffenheit der Membran an und für sich, sondern lediglich in dem anliegenden Protoplasma begründet, das bei einer mehr oder minder bestimmt körnigen Beschaffenheit durch von innen nach aussen wirkenden Druck auf die sehr zarte Membran gleichsam kleine Ausstülpungen derselben hervorruft, die ihr ein körniges Ansehen verleihen.

Beobachten wir das Verhalten der Zellhaut gegen Wasser, so zeigt sich dieselbe oft so äusserst empfindlich, dass sie schon unter der Einwirkung des Wassers, mit welchem das Präparat benetzt wurde, zerfliesst, wie dies z. B. bei den eben entstandenen Keimzellen der Phanerogamen und Kryptogamen der Fall ist. In anderen Fällen, wie bei vielen Schwärmsporen, bei manchen plasmolysirten, namentlich etwas älteren Zellen, besitzt sie dagegen selbst gegen einzelne der später zu besprechenden Reagentien weit mehr Widerstandsfähigkeit und lässt selbst die Anwendung eines nicht zu starken Druckes zu, wodurch sie unter Umständen gesprengt werden kann. Tritt darauf, oder, wie es hier und da vorkommt, bei dem durch den beim Wassereintritt zunehmenden Druck von innen veranlassten Platzen der Haut (junge Pollenzellen z. B.) der Inhalt von selbst aus, oder drängt man ihn durch einen nicht zu starken Druck hervor, so bleibt die Zellhaut oft als ganz oder theilweise entleerte helle, scharf umschriebene, etwas gefaltete Blase zurück, die indessen nach kurzer Zeit der Auflösung anheimfällt. Es kommt indessen bei dem Erfassen dieser Vorgänge viel darauf an, dass man gerade den richtigen Moment trifft, was natürlich meist vom Zufall abhängt.

2. Das Protoplasma.

Das Protoplasma, welches ich jetzt wie früher in dem von Mohl begrenzten Umfange auffasse, in welchem es sich mit dem „Cytoplasma" Strassburger's und anderer Autoren deckt, so dass die ältere Bezeichnung der neueren nicht zu weichen braucht, bildet die Grundsubstanz des Zellkörpers, innerhalb und aus der sich alle anderen Bestandtheile des Zellinhaltes entwickeln. Dasselbe erfüllt die jugendliche Zelle vollständig (Fig. 7). Erst im Laufe der weiteren Entwickelung sondert sich die Zellflüssigkeit in dem Innenraum aus. Dieser Vorgang macht sich dadurch erkennbar, dass in dem Protoplasma kleinere oder grössere, mit jener Flüssigkeit erfüllte Hohlräume, die Zellsafträume oder sogenannte Vacuolen, entstehen, die anfangs durch breitere oder schmälere Protoplasmamassen von einander getrennt sind. Später gestaltet sich die Ausbildung der Zellsafträume verschieden. Wo der Zellkern im Mittelpunkt der Zelle verbleibt, da sammelt sich um ihn

Digitized by Google

eine grössere oder kleinere Menge von Protoplasma an, während ein anderer Theil sich nach der Innenfläche der Membran zurückzieht (Fig. 11, S. 20 und Fig. 14, S. 31). Beide Protoplasmaportionen bleiben dabei entweder durch breitere Bänder und Platten oder durch feinere Protoplasmafäden mit einander in Verbindung, welche den Zellsaft durchziehen. Wo der Zellkern dagegen an den Umfang des Zellkörpers gerückt erscheint, da vereinigen sich die einzelnen Zellsafträume zu einem einzigen („Centralvacuole“) und es wird der ganze Innenraum der Zelle, während der Zellkörper einen zusammenhängenden Wandbeleg bildet, von dem Zellsafte oder der Zellflüssigkeit eingenommen (Fig. 1, S. 1 und Fig. 8, S. 18).

Fig. 7.

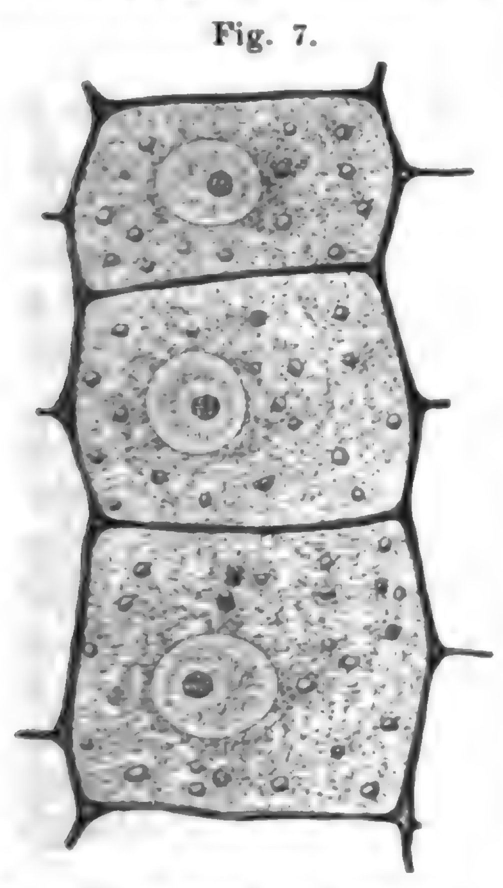


Fig. 7. Zellen aus dem Parenchym der Keimwurzel von Vicia Faba. Vergr. 1 : 750.

Feinerer Bau des Protoplasmas. — Ueber den Bau des Protoplasmas sind in der neueren Zeit verschiedene Ansichten zu Tage getreten. Nach der einen, welche zunächst von Beobachtungen an thierischen Objecten ausging, dann aber auch von einigen Botanikern (Schmitz, Strassburger) auf das Protoplasma der Pflanzenzellen ausgedehnt wurde, soll das Protoplasma in unserem Sinne (das Cytoplasma) ähnlich wie der Kern einen netzförmigen Bau besitzen: gegliedert in eine die Mikrosomen (Hanstein) in sich fassende homogene Gerüstsubstanz, und einen die von der letzteren gelassenen Zwischenräume erfüllenden, mehr oder minder zähflüssigen Stoff, das „Paraplasma“, „Enchylema“ oder die „Interfilarmasse“ der Autoren. Crato nimmt eine wabenartige Structur an, bei der die Wabenwände ein eigenes, für die Pflanze wichtige, gelöste chemische Baustoffe führendes, durch ein Häutchen abgeschlossenes Organ des Zellleibes, die „Physoden“, sowie den Zellkern und die Protoplasten einschliessen, die Zwischenräume von der Kammerflüssigkeit erfüllt sein sollen. Nach anderen ist dieser gerüstförmige Bau als ein durch die Härtungsmethoden hervorgerufenes Kunstproduct anzusehen, und es stellt das Protoplasma eine ziemlich zusammengesetzte Mischung (Emulsion Berthold) vor, in welcher sich körnige, tropfen- und unter Umständen auch fadenförmige Gebilde mit zähflüssigen und flüssigen (gelösten) Stoffen vereinigt finden.

Für die vollständige Erkenntniss des Wesens der Zelle ist die genaue Beobachtung der Gestaltung des Protoplasmas auf den verschiedenen Entwickelungsstufen der Zellen, und zwar unter Verwendung indifferenter

Digitized by Google

Zusatzflüssigkeiten, von erheblicher Bedeutung. In den ganz jungen, eben erst gebildeten Zellen der Gewebe, dicht unterhalb des Vegetationskegels der höheren Gewächse, erscheint dasselbe bei dieser Beobachtungsweise immer ganz gleichartig und von feinkörniger, halbflüssiger Beschaffenheit. Nur vereinzelt finden sich etwas grössere Körnchen. Auf weiter vorgerückten Entwickelungsstufen erst geht in der Protoplasmamasse eine Sonderung vor sich, welche für die Entwickelungsgeschichte der Zellwand und deren Verdickungsschichten von Wichtigkeit wird und zu deren Beobachtung es, um sich an unverletzten frischen, wie an gehärteten (fixirten) und gefärbten Präparaten eine klare Einsicht zu verschaffen, bester Objective mit starken Vergrösserungen, sowie einer sorgfältigen Verwendung des Blendungsapparates bedarf. Man wird dann zwei Schichten unterscheiden können, von denen die eine, fast ganz homogene, bald mehr bald minder zähflüssige der Zellwand anliegt, während die andere leichtflüssigere und körnchenhaltige zwischen der äusseren Schicht und dem durch eine Plasmahaut von dem lebendigen Zellkörper abgeschlossenen Zellsaftraum ihren Platz nimmt; ein Verhalten, das sich selbst bei den durch das Zelleninnere verlaufenden Protoplasmafäden beobachten lässt, wenn diese eben nur den erforderlichen Durchmesser besitzen. In dieser letzteren Schicht, welche auch als Körnerschicht (Pringsheim), Polioplasma (Nägeli) und Körnchenplasma (Strassburger) bezeichnet wird, sind stets der wandständige Zellkern sowie die organisirten festen Formbestandtheile des Zellinhaltes, Chlorophyll u. s. w. eingebettet. Ueber die beziehungsweisen Massenverhältnisse beider Protoplasmaschichten lässt sich nur so viel feststellen, dass die körnchenhaltige gegen die homogene Schicht, auch Hyaloplasma, Cytohyaloplasma (Strassburger), Hautschicht (Pringsheim) genannt, in der Regel überwiegt. Letztere ist oft in so geringer Menge vertreten, dass sie nur schwierig wahrgenommen und von der ersteren kaum unterschieden werden kann, da zwischen beiden meistens ein nur ganz allmäliger Uebergang stattfindet, also eine scharfe Grenzlinie nicht zu ziehen ist.

Bewegung des Protoplasmas. — Eine der interessantesten Erscheinungen des Zellenlebens bietet die bei ruhender Zellhaut stattfindende, den Zellsaft in gleichmässiger Richtung, jedoch mit verringerter Geschwindigkeit in Mitleidenschaft ziehende Bewegung des Protoplasmas dar, welche sich in allen lebensthätigen Zellen beobachten lässt, die wir aber hier nur an Dauerzellen, d. h. an solchen Zellen, welche eine feste Wand besitzen, verfolgen wollen.

Wir müssen dabei zunächst die sogenannte Wandströmung von der vielgestaltigeren Strömung unterscheiden, welche sich auch über die durch das Zellenlumen verlaufenden Protoplasmafäden erstreckt und die man als Binnenströmung bezeichnen kann. Bei der ersteren kommen, von dem einfach auf- und absteigenden Strome, bis zu der

Digitized by Google

spiralig verlaufenden und netzförmig verzweigten Strömung mancherlei Abänderungen vor.

Wandströmung. — Zur Beobachtung des einfachen auf- und absteigenden Wandstromes, Rotation der Autoren, eignen sich namentlich junge Gliederzellen der Nitella-Arten, welche fast überall in Bächen und Teichen vorkommen, schon deshalb sehr gut, weil man sie den ganzen Sommer hindurch frisch haben und bei Umhüllung mittelst des Wassers, in welchem sie gewachsen sind, die fragliche Erscheinung verfolgen kann. Ein fast ebenso geeignetes, die Strömung wohl am schönsten zeigendes Object bietet *Vallisneria spiralis* dar, die man, wie auch die Nitella-Arten, leicht im Zimmer zu cultiviren vermag. Bei dieser Pflanze lassen sich jedoch nicht immer die unverletzten Zellen als Beobachtungsobject verwenden, sondern man muss einen Längsschnitt, am besten aus der Unterseite des Blattes nehmen. Hierbei ist darauf zu achten, dass derselbe weder zu dünn noch zu dick ausfällt, weil im ersten Falle keine unverletzten Zellen bleiben, im anderen aber die Beobachtung durch die über einander liegenden Zellenlagen erschwert wird. Wo *Hydrocharis morsus ranae* wächst, gewährt dieselbe ein für starke Vergrösserungen allerdings weniger geeignetes, aber leicht zu behandelndes Object, indem man nur die Spitze einer jungen Wurzel mit recht straffen Wurzelhaaren in einer hinreichenden Menge von Wasser und mit möglichst grossem Deckglas eingedeckt unter das Mikroskop zu bringen braucht. Andere Wasserpflanzen, wie *Elodea, Najas, Caulinia, Closterium*, letzteres in einer etwas eigenthümlichen Weise, die von Nägeli als Glitschbewegung, als besondere Strömungsform unterschieden wurde, zeigen diese Strömung ebenfalls, eignen sich indessen kaum so gut für deren Studium, als eine der oben genannten Pflanzen.

Man hat bei der Beobachtung dieser Erscheinung zunächst auf die Richtung des die Längsachse der betreffenden Zellen stets in einer mehr oder weniger schiefen, häufig der vollen Spirale sich nähernden Richtung schneidenden Stromes, dann auf die an der Bewegung theilnehmenden Inhaltskörper, endlich auf die Geschwindigkeit der letzteren unter sich sowohl, als auf jene des Stromes an verschiedenen Stellen zu achten.

Bei *Nitella* nimmt die äussere, die Chlorophyllkörper führende, ziemlich dicke Schicht des Protoplasmas an der Bewegung nicht Theil, sondern nur die innere, dem Zellsaftraume angrenzende; ausserdem beobachtet man einen schräg die Längsachse unter sehr spitzem Winkel schneidenden, hellen, ruhenden Streifen, den man als Indifferenzstreifen bezeichnet. Mit dem mächtigen Strome bewegen sich die hier in Vielzahl auftretenden blassen, häufig nicht oder kaum erkennbaren länglichen Zellkerne, sowie eigenartige, kugelige, glattwandige, oder morgensternförmige Plasmagebilde, die sogenannten Stachelkugeln, welche auch häufig noch eine Drehung um ihre Achse erkennen lassen.

Bei *Vallisneria* (Fig. 8) ist der bewegungslose Streifen sehr breit und der strömende Theil, in dem das Protoplasma bis nahe an die Zellwand hin, nach innen jedoch mit grösserer Geschwindigkeit in Bewegung ist, nimmt eine verhältnissmässig geringe Breite ein. Hier werden von dem nur wenig aber doch erkennbar gegen die Zellenachse geneigten Strome die Chlorophyllkörper, sowie der Zellkern, der indessen oft von dem Chlorophyll verdeckt erscheint, mitgeführt. Letzteren sieht man öfter, namentlich an den Umbiegungsstellen, in der Bewegung innehalten

Fig. 8. Fig. 9.

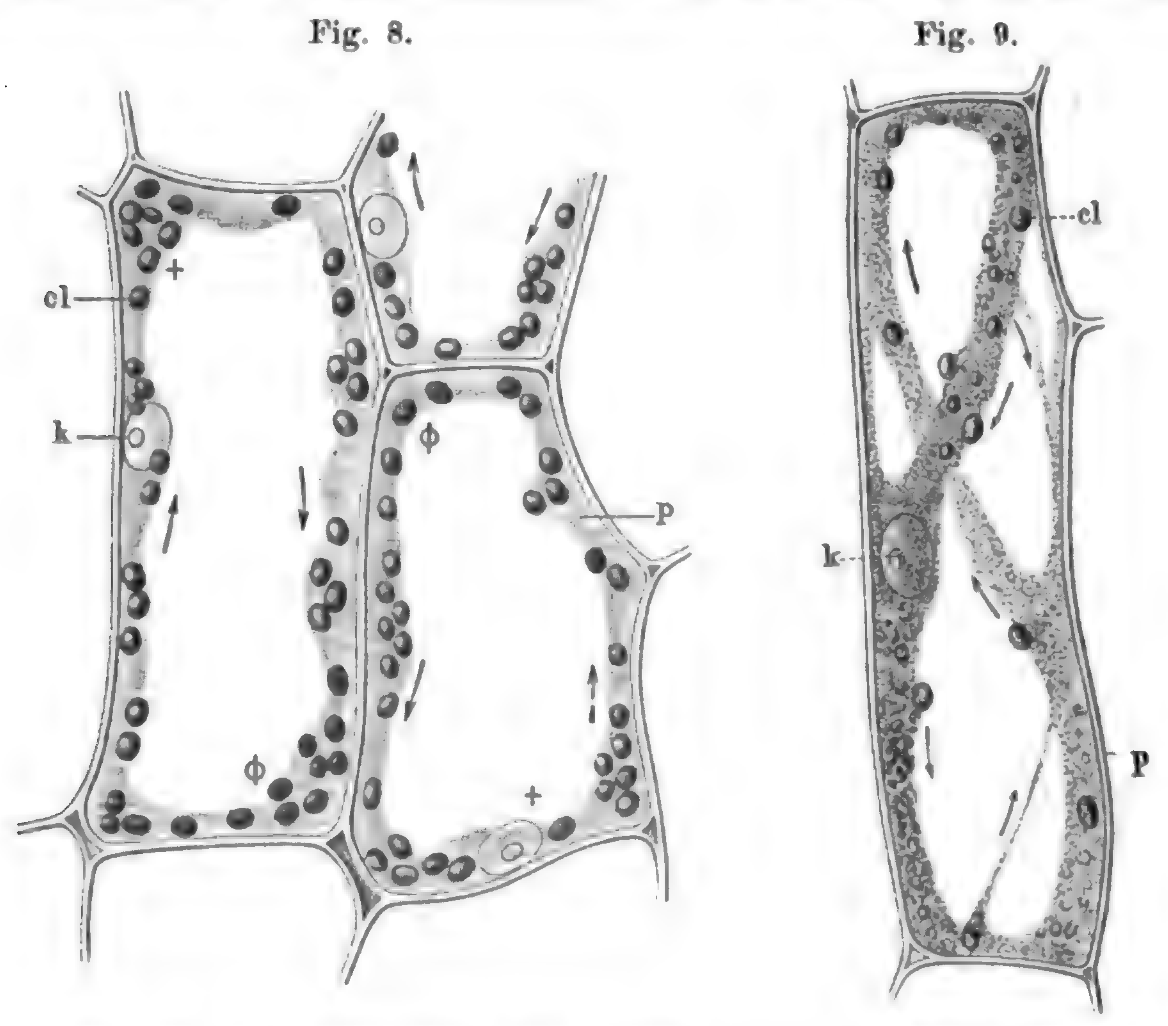


Fig. 8. Zellen aus dem Blattparenchym von Vallisneria spiralis. Der Strom verläuft in einer geneigten Bahn an den zum Beobachten senkrechten Wänden, und ist die höhere Lage durch +, die tiefere durch Φ bezeichnet. *p* Protoplasma, *k* Zellkern, *cl* Chlorophyllkörner. Vergr. 1 : 800. — Fig. 9. Parenchymzelle aus dem Blüthenschafte von Tradescantia virginica mit nahezu einfach spiraligem, etwas verzweigtem Wandstrom. Bezeichnung wie in Fig. 8. Vergr. 1 : 420.

und es stauen sich um ihn die folgenden Chlorophyllkörper an, bis dann plötzlich alles wieder in den Strom aufgenommen wird.

Bei den Closterien befinden sich in den beiden farblosen Enden der halbmond- oder spindelförmigen Zellen je ein kugeliger oder linsenförmiger Zellsaftraum, innerhalb dessen sich kleine, aus schwefelsaurem Kalk bestehende Körnchen in lebhafter, zitternder Bewegung befinden. Aehnliche Körnchen finden sich in dem die beiden grossen Chlorophyllkörper umgebenden, farblosen Protoplasma in schneller, gleitender Bewegung, die insofern etwas Eigenartiges zeigt, als die die Körperchen führenden Strömchen oft gänzlich stillstehen, dann wieder an anderer Stelle auftreten, oder entgegengesetzte Richtung einschlagen.

Digitized by Google

Für die Beobachtung des einfachen, nur eine einzige Windung machenden spiraligen, hier und da auch dem Hauptstrome nahe gelegene und bald wieder in denselben einmündenden Abzweigungen aussendenden Wandstromes bieten — wie schon von Schacht hervorgehoben — die einzelligen Haare des Fruchtknotens der Oenothera-Arten; ebenso einzelne der langgestreckten Parenchymzellen aus dem jungen Blüthenschafte von *Tradescantia virginica* (Fig. 9), ein treffliches Material, das sich wohl leicht durch ähnliche, sehr lebenskräftige, saftige und gestreckte Gewebe vermehren lässt. Auch in den jungen Zellen der gegliederten Haare von den Staubfäden der letzteren Pflanze ist die Strömung manchmal noch so einfach, dass sie nur eine hier und da etwas verzweigte Spirale bildet.

Eine weitere Complication des Wandstromes besteht darin, dass derselbe in einer einzigen oder in mehreren eine kleinere oder grössere Anzahl von Windungen beschreibenden Spiralen verläuft, wie man es sehr schön an den jungen Schleuderzellen der Lebermoose beobachten kann. Man muss zu dem Ende die junge Kapsel von dem Zeitpunkte an, wo sie etwa halb reif ist und die Sporenmutterzellen sich von den gestreckten jungen Schleuderzellen zu differenziren beginnen, in verschiedenen Alterszuständen untersuchen, um den richtigen Zeitpunkt zu treffen. Beobachtet man die gehörige Vorsicht und wendet als Zusatzflüssigkeit eine der H., S. 696, und G., S. 311, empfohlenen Flüssigkeiten an, so wird man in den jungen Schleudern dann nicht nur ruhende Protoplasmaströme finden, sondern auch deren Bewegung beobachten können. Seltener gelingt es, diese Strömung in den sich entwickelnden fibrösen Zellen der Antheren, wozu namentlich die *Liliaceen* sowie *Cucurbita pepo* zu empfehlen sind, wahrzunehmen, da die Herstellung passender Präparate hier schon weniger leicht gelingt.

Der netzförmig verzweigte Wandstrom lässt sich, gleich dem spiraligen, nur bei der Entstehung der gleichgeformten Verdickungsschichten der Gefässe und anderer Zellen beobachten, und werden wir betreffenden Ortes ausführlicher darüber sprechen.

Binnenströmung. — Die zweite Art der Strömung, welche manche Botaniker von der vorigen unter dem Namen Circulationsströmung unterschieden haben, geht in der Regel von dem Zellkern aus und wieder zu demselben zurück.

Dieselbe tritt häufig auf und findet sich ohne Ausnahme in allen jungen, eben befruchteten Keimzellen, in den eben entstandenen Zellen der Gewebe, sowie in den ein- und mehrzelligen jungen, aber auch älteren Haaren (Staubfädenhaare von *Tradescantia virginica*, Haare der jungen Triebe und Blätter von *Chelidonium*, *Cucurbita*, *Urtica* u. s. w.), überhaupt wohl in allen den jugendlichen und lebensthätigen Zellen, welche nicht eine der vorhergehenden Wandströmungen beobachten lassen, mit denen sie aber auch zusammen vorkommen oder denen sie vorausgehen kann.

2*

Der Ablauf dieser Bewegung gestaltet sich im Allgemeinen folgendermaassen: Eine grössere oder kleinere Anzahl breiterer und schmälerer, manchmal an demselben Faden entgegengesetzt gerichteter Strömchen von

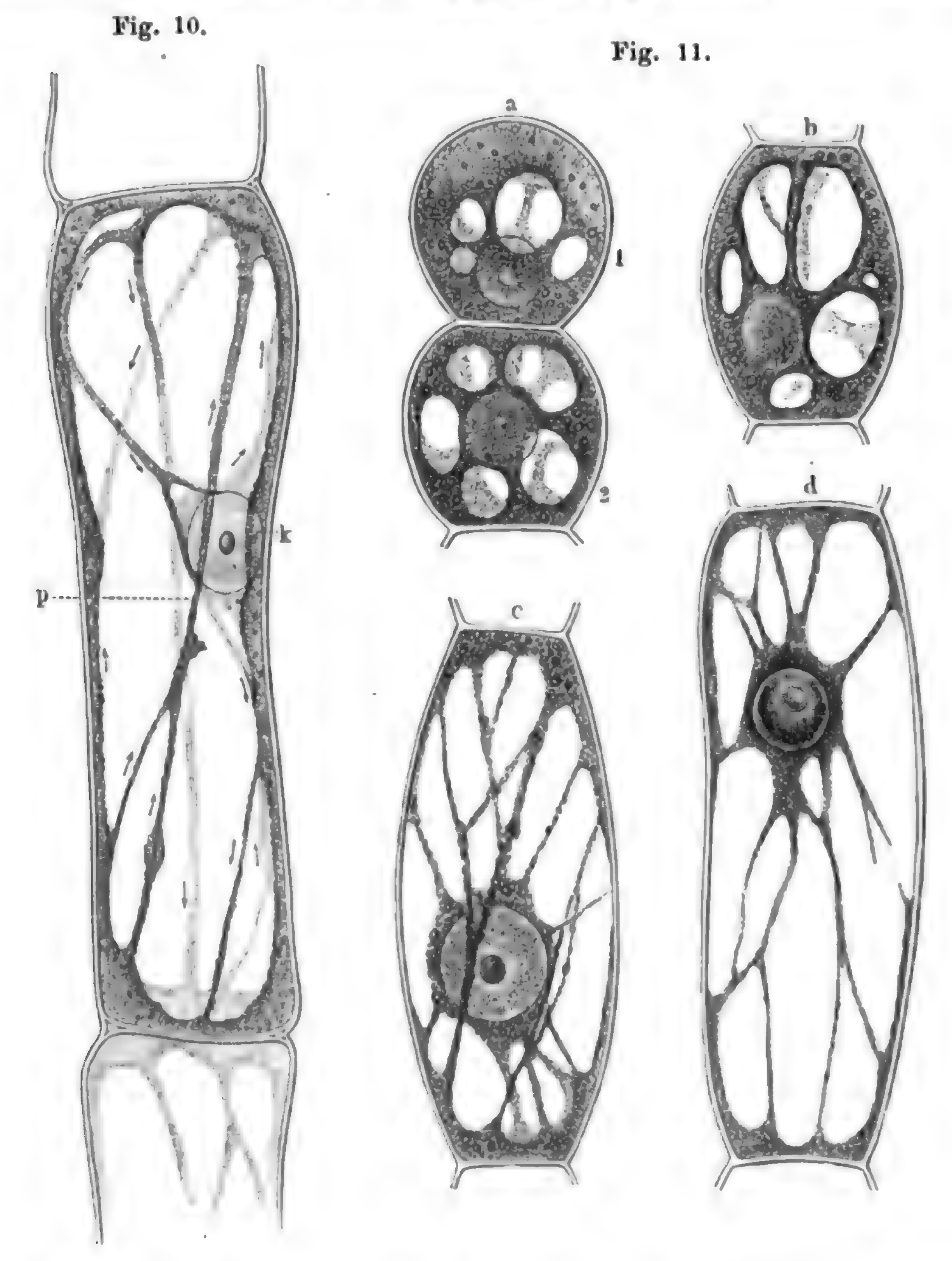


Fig. 10. Haarzelle von Chelidonium majus mit Binnenströmchen. *p* Protoplasma, *k* Zellkern. Vergr. 1 : 460. — Fig. 11. Zellen aus Staubfädenhaaren von Tradescantia virginica mit verschiedenen Entwickelungsstufen der Protoplasmaströmchen, welche durch die Buchstaben *a*, 1 und 2, *b*, *c* angedeutet sind. *d* ist eine alte Zelle, in der die Strömchen erstarrt sind und ein homogenes, glänzendes Aussehen angenommen haben. Vergr. 1 : 660.

körnige Gebilde führendem Protoplasma verläuft längs ihre Lage sowie ihren Umfang häufig ändernder, hier und da sich auch mit einander vereinigender, oder neue Abzweigungen aussendender, wie auch in das

Digitized by Google

Wand- oder mittlere Protoplasma sich zurückziehender Fäden homogenen Protoplasmas, bald an der Innenseite der Zellwand, bald quer durch das Lumen der Zelle, jetzt unmittelbar zu dem Zellkerne zurückkehrend, dann über ihn hinweggehend, um sich erst nach wiederholtem Kreislaufe mit der ihn umhüllenden Protoplasmamasse zu vereinigen (Fig. 10).

Die Binnenströmung oder Circulation ist, soweit sich beobachten lässt, niemals in der Primordialzelle, bevor die Abscheidung der Zellwand begonnen hat, wahrzunehmen, sie beginnt in den Zellen der Haare und jungen Gewebe mit dem Zeitpunkte, wo sich Protoplasma und Zellsaft sondern, und im ersteren die oben erwähnten sphärischen Hohlräume auftreten. Zwar ist die Bewegung in diesem jugendlichen Zustande der Zelle noch weniger leicht zu sehen, aber bei einiger Ausdauer wird man bald dahin gelangen, dass man sich von ihrem Dasein überzeugt. Erst wenn bei vergrösserter Zelle das Protoplasma gegen die Zellsafträume an Masse zurücktritt und schärfer ausgeprägte körnige Bildungen mit sich führt, deren Bewegung man sicherer verfolgen kann, wird dieselbe leichter erkennbar.

Als ein vorzüglich geeignetes Object für die Beobachtung der Entstehung und allmäligen Ausbildung der Binnenströmchen lassen sich die gegliederten Staubfädenhaare der *Tradescantia virginica* empfehlen, die fast in jedem Garten zu finden ist. Wählt man ganz junge Blüthenknospen von etwa 4 bis 5 mm Länge, so findet man die Haarzellen entweder noch in lebhafter Zellentheilung begriffen, oder alle bereits angelegt, sich zu strecken beginnend, und es lassen sich ohne Mühe die passenden herausfinden, deren Inhalt fast nur aus kleine Stärkekörner führendem Protoplasma besteht, oder in denen die (nach Crato aus dem Heranwachsen einzelner der unzähligen kleinen Waben hervorgehenden) mit Zellsaft erfüllten Hohlräume eben entstehen und durch breite Protoplasmabänder von einander geschieden sind (Fig. 11 a, 1 und 2). Hier ist stets eine nur langsame, kaum bemerkbare Strömung der Körnchen wahrzunehmen. Steigt man in der Beobachtung der einzelnen Zellen weiter nach dem Grunde des Haares hinab, so tritt das Protoplasma immer mehr gegen die noch farblose Zellflüssigkeit zurück; die Strömchen erscheinen mehr aus einander gerückt und schmäler, nur einzelne bandförmig (Fig. 11 b); ja manchmal zeigt sich nur ein einzelner, in einer Spirale verlaufender weiterer Hauptstrom, der seinen Ausgangspunkt im Zellkerne hat und keine oder nur wenige Anastomosen beobachten lässt. In etwas älteren Blüthenknospen mit noch ungefärbtem Inhalte der Staubfädenhaare tritt allmälig eine immer grössere Complication der Strömung ein, und es verlieren die einzelnen Strömchen an Volumen mehr und mehr, indem neben den sehr feinkörnigen Protoplasmaelementen häufiger umfangreichere Körnchen auftreten (Fig. 11 c).

In solchen Blüthenknospen, welche dem Aufblühen nicht mehr fern sind, hat die Zellflüssigkeit eine blaue Farbe angenommen, welche nach

Digitized by Google

den unteren lang gestreckten Zellen hin an Intensität allmälig abnimmt. Das Netz der Strömchen wird hier immer zusammengesetzter, und es treten, während zugleich das Wandplasma an Menge abgenommen hat, neben einzelnen breiteren Fäden, die in der Regel aus einem auf- und absteigenden Strome bestehen, ganz dünne, fast linienförmige auf. Auch das Aussehen der Strömchen selbst hat sich verändert. Der grössere, innere Theil derselben besteht aus einer homogenen, stärker glänzenden Substanz, über die wenig körniges Protoplasma hingleitet, das nun sowohl an der feinkörnigen Substanz, als auch an den grösseren Körnern eine Verminderung erfahren hat. Solche Zustände waren es wohl, welche schon früher manche Forscher zu der Annahme geführt haben, die Protoplasmaströmchen verliefen an der Aussenseite von soliden Fäden, während andere, wie Hartig, Brücke, Heidenhain, behaupteten, sie seien von eigenen Canälchen umschlossen.

Entnimmt man endlich die Haare von solchen Staubfäden, deren Antheren bereits entleert sind, so findet man die Zellen fast ganz mit dem blau gefärbten Zellsaft erfüllt, die Strömung hat aufgehört, und der homogen erscheinende Zellkern wird gleichsam von festen glänzenden, homogenen Fäden festgehalten, denen nur hier und da körnige Bildungen anhaften und welche in einen gleich beschaffenen geringen Wandbeleg übergehen (Fig. 11 d, S. 20).

Eine Hauptbedingung für das Gelingen der Beobachtung des Ablaufes dieser offenbar bei allen in voller Lebensthätigkeit befindlichen Zellen in mehr oder minder hohem Maasse vorhandenen, wenn auch an gewisse Zeitabschnitte gebundenen und oft erst durch äussere Einflüsse, wie Präparation u. s. w., zunächst gehemmten, dann aber wieder zur Erscheinung gebrachten oder lebhafter angeregten Lebenserscheinung des Protoplasmas besteht darin, dass man einen recht warmen Tag wählt, an dem die Lebensthätigkeit der betreffenden Pflanze sich in energischem Schwunge befindet. An kühlen, dunklen Tagen ist dieselbe nämlich immer bedeutend träger und lässt sich nur dann eine etwas lebhaftere Bewegung erzielen, wenn man den heizbaren Objecttisch in Gebrauch nimmt und demselben eine Temperatur von 25 bis 30° C. giebt.

Um die Bewegung des Zellsaftes zu beobachten, bringt man die betreffenden Präparate in eine 0,0008 procentige, in dem Zellsaft einen Niederschlag erzeugende Methylenblaulösung. Man erkennt dann, dass die kleinen Niederschlagskörnchen langsam in der Richtung der Plasmaströme fortgeführt werden.

Wirkung verschiedener äusserer Einflüsse auf die Bewegung des Protoplasmas. — Bei dem innigen Zusammenhange, in welchem die Bewegungserscheinungen des Protoplasmas mit den Gesammterscheinungen des Zellenlebens stehen, und bei der Bedeutung, welche ihnen für die Entscheidung der schwebenden Fragen über eine Reihe von gestaltenden Vorgängen zukommt, darf man sich nicht darauf beschrän-

Digitized by Google

ken, die Beobachtung derselben unter Wasser oder den oben erwähnten Zusatzflüssigkeiten vorzunehmen. Man muss vielmehr mit Sorgfalt den Einfluss studiren, welchen verschiedene Agentien auf dieselben ausüben.

Zunächst gilt es, den Einfluss zu ermitteln, welchen die Hauptfactoren des vegetabilischen Lebens, Licht, Luft, Feuchtigkeit und Wärme, auf dieselben äussern und, was das Wichtigste ist, Vergleiche zu ziehen darüber, mit welchen, unter bestimmten Einwirkungen dieser Agentien vor sich gehenden Processen des Zellenlebens, die in Frage kommenden Bewegungserscheinungen zusammenfallen und welche Veränderungen sie mit deren Wechsel erleiden. Nur durch solche stets vergleichende, die gesammten Lebenserscheinungen im Auge haltende Beobachtungen werden die Grundlagen zu gewinnen sein, aus welchen sich die Erkenntniss der Bedeutung des Protoplasmas im Zellenorganismus erlangen lässt, während alle Beobachtungen der Bewegungserscheinungen für sich allein, losgerissen von dem Gesammtleben, und mögen sie auch in der umfänglichsten und feinsten Weise ausgeführt sein, als von wissenschaftlich kaum erheblicher Bedeutung zu betrachten sind.

Es erwachsen hieraus die Aufgaben, das Verhalten der Strömungen des Protoplasmas unter dem Ausschlusse von Licht und Luft, bei verminderter sowie bei erhöhter Temperatur zu beobachten, da sich der Ausschluss von Feuchtigkeit gar nicht oder doch nicht ohne den zugleich statthabenden Abschluss der atmosphärischen Luft ausführen lässt.

Um das Verhalten des Protoplasmas unter dem Ausschlusse des Lichtes zu studiren, bringt man geeignete lebende, in Wasser cultivirte oder in Töpfen erwachsene Pflanzen, denen sonst keine Bedingung ihres Gedeihens entzogen wird, in einen dunklen Raum aus Holz, Pappe oder Blech und beobachtet dann nach mehrstündigen bis mehrtägigen Zwischenräumen diese selbst (*Nitella*) oder die Haare der Blätter u. s. w. Bei der Beobachtung selbst lässt sich das Licht allerdings nicht völlig ausschliessen; man kann dessen Einfluss indessen immerhin vermindern und verschiedentlich modificiren, wenn man über dem Spiegel dunkel gefärbte wie verschiedenfarbige Gläser anwendet und den Objectträger mit einer der feuchten Kammer ähnlichen Deckröhre umgiebt, welche das Seitenlicht ausschliesst.

Der Abschluss der atmosphärischen Luft lässt sich bei allen Haargebilden leicht dadurch erzielen, dass man dieselben von fettem Oele umgeben beobachtet. Bei den Wasserpflanzen kommt man hiermit dagegen nicht zum Ziele; es wird die Luft durch eine andere Gasart, z. B. Kohlensäure oder Wasserstoff, verdrängt, und jene bis zur Untersuchung in derselben verharren gelassen werden müssen. Hierzu eignet sich vortrefflich die von W. Kühne empfohlene einfache Vorrichtung, die sich jeder leicht zusammenstellen kann. Auf dem Boden einer etwa 25 cm weiten, 15 cm hohen Glasschale werden ein 3 bis 5 cm hoher Kork, und um diesen herum drei radienartig verlaufende Glasstäbe festgekittet, von

Digitized by Google

denen der erstere den Objectträger aufnimmt, die letzteren dem aus einem 7 cm weiten, 10 cm hohen Cylinderglase bestehenden Recipienten derart als Unterlage dienen, dass zwischen seinem Rande und dem Boden der Glasschale ein Zwischenraum bleibt. Beschwert man den Recipienten etwas, füllt die Glasschale bis zum oberen Rande mit Wasser, und führt das Gasleitungsrohr einer Entbindungsflasche, in welcher eines der genannten Gase erzeugt wird, unter dem auf den Glasstäben ruhenden Cylinder hinweg in das Innere des Apparates, so wird die atmosphärische Luft nach und nach vollständig verdrängt, und es kann das Präparat in der abgesperrten Gasart verweilen, bis es zur Untersuchung verwendet wird.

Um das Verhalten des Protoplasmas unter dem Einflusse einer bis zum Gefrierpunkte erniedrigten Temperatur zu ermitteln, bringt man die unter Deckglas auf dem Objectträger befindlichen Pflanzentheile zur Zeit des Winters in durch schmelzendes Eis auf 0° erhaltenes Wasser, im Sommer in ein von einer der bekannten Kältemischungen umgebenes Gefäss und beobachtet sofort nach dem Herausnehmen.

Die Wirkung erhöhter Temperatur lässt sich schon einigermaassen gut an solchen Präparaten studiren, die man unter einem an den vier Ecken festgekitteten Deckglase in ein Wasserbad von bestimmter Temperatur eingetaucht hatte. Weit besser eignet sich indessen hierzu die Verwendung des heizbaren Objecttisches in Verbindung mit der feuchten Kammer, weil man hier die Temperatur unter beständiger, genauer Controle nach und nach bis zu einem erwünschten Punkte steigern und dauernd auf demselben erhalten kann.

Das Studium des Einflusses anderer Agentien, wie der mineralischen Säuren, der Alkalien, der Pflanzenalkaloide und anderer Gifte, halte ich zur Zeit noch für wenig entscheidend in Bezug auf die zu lösenden Fragen, weil wir eben deren Beziehungen zu dem Gesammtleben der Gewebe wie der Einzelzelle noch gar nicht oder doch nur insofern kennen, als sie die chemische oder physikalische Beschaffenheit des Protoplasmas und damit die treibenden Kräfte und Widerstände ändern oder aber vernichtend auf dieselben wirken.

Selbst der Einfluss elektrischer Ströme, der aber immerhin studirt werden soll, scheint mir überschätzt worden zu sein, einmal weil wir es dabei viel zu wenig in der Gewalt haben, die chemischen, mechanischen und physiologischen Wirkungen derselben von einander zu scheiden, zum anderen, weil die Beziehungen dieses Agens zu dem Gesammtleben des ganzen Organismus und der Elementarorgane noch zu wenig erforscht sind, um die oben erwähnten Vergleiche ziehen und hieraus gültige Schlüsse ableiten zu können. Wie die Resultate auch ausfallen mögen, es bleiben immer aus dem Zusammenhange gerissene Einzelheiten, denen der verknüpfende Faden fehlt. Hier eine Anleitung zu den Versuchen über die Einwirkung der elektrischen Ströme zu geben, würde zu weit führen. Ohnedem hat jeder, der sich damit befassen will, die ein-

Digitized by Google

schlägigen Gesetze und Apparate genau kennen zu lernen, und wird es ihm dann leicht werden, mit Hülfe der in der einschlägigen Literatur erhaltenen Winke und unter Verwendung des elektrischen Objecttisches oder einer denselben ersetzenden Vorrichtung die Zusammensetzung des Apparates und die verschiedenen Modificationen in dessen Verwendungsweise zu bewerkstelligen.

Dass nur die eben geschilderte Beobachtungsweise der Protoplasmaströmungen in Verbindung mit dem Studium der Entwickelung und weiteren Ausbildung der Zelle die einzig gültigen Grundlagen für die Erkenntniss der bewegenden Kräfte liefern könne, ist natürlich. Man hat letztere theils in der Contractilität der Substanz, theils in verschiedenseitig wirkenden, durch eine eigenartige Molecularstructur des Protoplasmas bedingten Anziehungskräften und anderen Verhältnissen gesucht, ohne dass man damit weiter gelangt wäre, als zu haltlosen Hypothesen. Wir haben es hier mehr mit den Erscheinungen selbst, als mit deren Erklärung zu thun, und können uns daher auf eine Discussion der bewegenden Kräfte nicht einlassen. Nur so viel möge angedeutet werden, dass — wie ich schon in der ersten Auflage hervorgehoben habe — die Beobachtung des Zellenlebens darauf hinweist, wie die Strömung aufs Innigste mit den Ernährungsprocessen zusammenhängt, und wie die bewegenden Kräfte theils in dem Mechanismus der Diffusionserscheinungen, d. h. des Stofftransportes, theils vielleicht in durch die chemischen Stoffwandlungen erregten Entmischungsvorgängen ihren Grund haben dürften.

Chemische Beschaffenheit des Protoplasmas. Das Protoplasma als morphologische Einheit aufgefasst, darf nicht in gleichem Sinne auch chemisch als eine bestimmte, genau umschriebene Substanz betrachtet werden. Wir haben in demselben vielmehr eine Vereinigung chemisch verschieden zusammengesetzter Stoffe zu erblicken, unter denen neben anderen organischen Verbindungen, wie Kohlehydrate und dergleichen, welche, abgesehen von den darin suspendirten Inhaltskörperchen, unzweifelhaft immer damit gemischt und wahrscheinlich in chemischer Umwandlung begriffen darin vorkommen, und mittelst unserer gegenwärtigen Hülfsmittel nicht nachzuweisen sind, sowie neben Aschenbestandtheilen allerdings die Eiweissverbindungen oder Proteïnstoffe vorherrschend vertreten erscheinen. Dieser Umstand bedingt denn auch das früher einfach als „Protoplasmareaction" betrachtete, letzteren gemeinsame Verhalten gegen gewisse Reagentien. So bewirken u. a. die Einwirkung von Jod, oder von Jod und Schwefelsäure dunkelgelbe bis braune, von Salpetersäure und Ammoniaklösung hochgelbe, von schwefelsaurem Kupferoxyd und Aetzkali violette, von Schwefelsäure und Zucker rosenrothe, von Millon'schem Salz ziegelrothe Färbung. Lebendes Protoplasma schlägt aus höchst verdünnter Silberlösung (z. B. 1 Liter einer Lösung von $^{1}/_{1000}$ proc. Silbernitrat mit 5 bis 10 ccm ge-

Digitized by Google

sättigter Kalklösung) metallisches Silber nieder und wird schwarz gefärbt (Loew und Bokorny); es nimmt ferner eine Anzahl sehr verdünnter Anilinfarbstoffe, wie Fuchsin, Safranin, Methylorange, Methylenblau, Methylviolett, Cyanin, Tropäolin 000, Methylgrün, Jodgrün u. a., auf, während abgetödtetes Protoplasma aus allen bei der mikroskopischen Untersuchung gebräuchlichen Färbeflüssigkeiten die Farbstoffe speichert.

Neben der durch diese Reactionen gewonnenen allgemeinen Orientirung kommen aber noch die Fragen nach der chemischen Beschaffenheit der Kleinkörperchen oder Plasmakörnchen (Mikrosomen) und der Grundsubstanz in Betracht.

In Bezug auf die ersteren, deren Verhalten an Schnitten durch chlorophylllose oder chlorophyllarme Gewebe mit körnchenreichem Protoplasma zu studiren ist, lässt sich keine sichere Entscheidung treffen. Nur geht aus Färbungsversuchen hervor, dass sie keinesfalls gleichartiger Natur sind, dass wir dieselbe also trotz der zusammenfassenden Bezeichnung nicht als einen den Chromatinkörperchen des Zellkerns gleichzustellenden Bestandtheil des Protoplasmas anzusehen haben. Möglicherweise bilden sie ein Gemenge von kleinen Plasmakörperchen, Stärkekörnchen, Gerbstoffkügelchen, Oeltröpfchen, Safträumchen, Kryställchen u. dergl. Zur Erledigung der anderen Frage können wir die schon bei dem Zellkern in Anwendung gebrachten, von Schwarz empfohlenen Reagentien zu Hülfe nehmen und dieselben an Längs- und Querschnitten der früher erwähnten Pflanzen und Pflanzentheile auf unverletzte und angeschnittene oder durch die Nadel geöffnete Zellen wirken lassen, damit die nach und nach sich geltend machende, sowie die sofortige Einwirkung beobachtet werden kann.

Die Grundsubstanz quillt durch Einwirkung von Wasser in jungen Zellen zu einer gleichmässig structurlosen oder feinpunktirten Masse auf, in älteren beobachtet man die Bildung von Safträumchen (Vacuolen), indem sich die erstere von in derselben aufgespeicherten gelösten Stoffen sondert, während in solchen aus ganz alten Pflanzentheilen, und wenn dieselben reich an Gerbstoffen sind, beide Vorgänge unterbleiben.

Den anderen Reagentien gegenüber tritt nach Schwarz folgendes Verhalten ein:

In 10 proc. Kochsalz und 10 proc. Magnesiumsulfat ist die Grundsubstanz unlöslich, sie coagulirt in unverletzten Zellen langsam, während in verletzten Zellen rasch Fällung erfolgt. Diese letztere tritt auch in 20 proc. Kochsalz und gesättigten Lösungen von Magnesiumsulfat ein. Monokaliumphosphat fällt bei längere Zeit erhaltener Quellungsfähigkeit. Dinatriumphosphat wirkt in schwachen Lösungen gleich Wasser, stärkere rufen Lösung, gesättigte Quellung hervor. Kalkwasser macht aufquellen, ohne zu lösen. Verdünnte Kalilauge bewirkt entweder Lösung oder sehr starkes Aufquellen, während concentrirte Lauge in eine Gallerte umwandelt. Verdünnte Essigsäure fällt, concentrirte erzeugt

Digitized by Google

Quellung, doch niemals Lösung. Verdünnte Salzsäure wirkt nicht lösend, hier und da aber quellend, während concentrirte ohne vorhergehende Quellung fällt. Ferrocyankalium in Verbindung mit Essigsäure fällt sofort, während Kupfersulfat und Kalibichromat langsamer wirken. Weder Pepsin noch Trypsin bewirken Lösung. Aus all diesen Reactionen würde folgen, dass die Grundsubstanz (das Hyaloplasma Strassburger's) nur aus einer, möglicherweise eine einheitliche Verbindung oder auch eine Gruppe verwandter Verbindungen darstellenden Proteïnsubstanz, dem Plastin (Cytoplastin), bestehe. Nach den sorgfältiger Nachuntersuchung bedürfenden Beobachtungen Crato's, welcher die mikrochemischen Eiweissreactionen für Phenolreactionen erklärt, sollen weder das Maschenwerk, d. h. die Wabenwände, noch der Inhalt der Physoden aus Eiweisssubstanzen bestehen. Erstere sollen die Farbenreactionen des Eiweisses nur in Folge des Eindringens des Physodeninhaltes in dieselben zeigen, während dieser letztere aus phenolartigen Verbindungen, insbesondere Phloroglucin, gebildet werde. Letztere Behauptung gründet der Autor besonders auch auf die gleiche oder ähnliche Färbung von Phloroglucin und Physodeninhalt unter Anwendung von Vanillin und Salzsäure (beide Stoffe tiefroth), Piperonal und Schwefelsäure (beide tiefroth), Millon's Reagens (ersteres gelb, letzterer braun bis braunroth), Zucker und Schwefelsäure (ersteres gelbroth, schwach erwärmt rothbraun, letzterer gelbroth bis rothbraun), rauchende Salpetersäure (ersteres schwarzbraun, letzterer braun), Kaliumnitrit und Schwefelsäure (ersteres gelb, letzterer braungelb), Anilinsulfat und Kaliumnitrit (beide roth).

Meyen: Neues System der Pflanzenphysiologie. II. Bd., 2. Buch, 4. Kapitel. Von den besonderen Bewegungen in dem Inneren der Zellen u. s. w. Enthält auch die vollständig ältere Literatur über die Strömungserscheinungen.

Schleiden: Beiträge zur Phytogenesis und Beiträge zur Kenntniss der Ceratophylleen. In Beiträgen zur Botanik. 1844. — Grundzüge, 1. bis 4. Auflage.

H. v. Mohl: Einige Bemerkungen über den Bau der vegetabilischen Zelle. Bot. Zeitung 1844. — Ueber die Saftbewegung im Inneren der Zellen. Bot. Zeitung 1846. — Die vegetabilische Zelle. Braunschweig 1851. — Der Primordialschlauch. Bot. Zeitung 1855.

Th. Hartig: Das Leben der Pflanzenzelle, Braunschweig 1844, und Entwickelung des Pflanzenkeimes, Berlin 1858.

Karsten: De cella vitali. Berol. 1848.

Göppert und Cohn: Ueber die Rotation des Zellinhaltes in Nitello flexilis. Bot. Zeitung. 1849.

Alex. Braun: Betrachtungen über die Verjüngung in der Natur. Leipzig 1851. — Ueber die Richtungsverhältnisse der Saftströme in den Zellen der Characeen. Monatsberichte der Berliner Akademie. 1852 und 1853.

Schacht: Die Pflanzenzelle und Lehrbuch der Anatomie und Physiologie. 1852 und 1856.

Unger: Grundzüge der Anatomie und Physiologie. 1846, und Lehrbuch, 1855.

Pringsheim: Untersuchungen über den Bau und die Bildung der Pflanzenzelle. Berlin 1854.

Digitized by Google

Dippel: Zur Primordialschlauchfrage. Flora 1856 und Beiträge zur vegetabilischen Zellbildung. 1857.

Max Schultze: Innere Bewegungserscheinungen bei Diatomeen u. s. w. Müller's Archiv für Anatomie und Physiologie. 1858 und: Das Protoplasma. Leipzig 1863.

Th. Jürgensen: Ueber die in den Zellen der Vallisneria spiralis stattfindenden Bewegungserscheinungen, in Studien des physiologischen Instituts zu Breslau. Heft 1. Leipzig 1861.

Sachs: Ueber einige neue mikroskopisch-chemische Reactionsmethoden: Separatabdruck Wien 1859 und mikrochemische Reactionen. Flora 1862.

De Bary: Ueber den Bau und das Wesen der Zelle. Flora 1862.

Brücke: Das Verhalten der sogenannten Protoplasmaströme von Urtica urens gegen die Schläge des Magnetelektrometers. Sitzungsberichte der Kais. Akademie. Bd. XLVI, Heft 1. Wien 1862.

R. Heidenhain: Notizen über die Bewegungserscheinungen, welche das Protoplasma in Pflanzenzellen zeigt, in Studien u. s. w. 1863.

W. Kühne: Untersuchungen über das Protoplasma. Leipzig 1864.

W. Hofmeister: Ueber den Mechanismus der Protoplasmabewegung. Amtlicher Bericht der 39. Versammlung Deutscher Naturforscher und Aerzte. Giessen 1865. Desgleichen in der Flora von 1865 und: Die Lehre von der Pflanzenzelle. 1867.

Velten: Bau und Bewegung des Protoplasmas. Flora 1873.

Strassburger: Zellenbildung u. s. w. und Studien über Protoplasma. Jena 1876.

Pfeffer: Osmotische Untersuchungen. Leipzig 1877. Pflanzenphysiologie. 1881. Aufnahme von Anilinfarben in lebende Zellen, in Untersuchungen a. d. bot. Inst. zu Tübingen. Bd. I, 1886 und: Kritische Besprechung von de Vries: Plasmolytische Studien u. s. w. (siehe unten). Bot. Ztg. 1886.

Fromann: Beobachtungen über Structur- und Bewegungserscheinungen der Pflanzenzellen. Jena 1880.

Hanstein: Einige Züge aus der Biologie des Protoplasmas in botan. Abhandl., herausg. v. von Hanstein. Bd. IV, Heft 2. Bonn 1880. Das Protoplasma als Träger der pflanzlichen und thierischen Lebensverrichtungen. Heidelberg 1880.

Reinke: Die chemische Zusammensetzung des Protoplasmas von Aethulium septicum. Göttingen 1880, und desgl., sowie Protoplasmaprobleme, in Unters. a. d. bot. Inst. d. Univ. Göttingen. Heft 2, 1881.

Flemming: Zellensubstanz u. s. w. Leipzig 1882.

Loew und Bokorny: Die chemische Kraftquelle im lebenden Protoplasma. München 1882.

Loew: Noch einmal über das Protoplasma und über den mikrochemischen Nachweis von Eiweissstoffen. Bot. Ztg. 1884. Ein weiterer Beweis, dass das Eiweiss des lebenden Protoplasmas eine andere chemische Constitution besitzt, als das des abgestorbenen.

Wiegand: Botanische Hefte. I. 1885.

de Vries: Plasmolytische Studien über die Wand der Vacuolen. Pringsheim's Jahrbücher. Bd. XVI, 1885. Ueber die Aggregation im Protoplasma von Drosera rotundifolia. Bot. Ztg. 1886.

Berthold: Studien über Protoplasmamechanik. 1886.

Schwarz: 1) Beitrag zur Entwickelungsgeschichte des pflanzlichen Zellkerns nach der Theilung in Cohn's Beiträgen zur Biologie der Pflanzen. Bd. IV, 1884. 2) Die morphologische und chemische Zusammensetzung des Protoplasmas. Ebendas. Bd. V, 1887. 3) Entgegnung auf das Referat von Zacharias. Bot. Zeitung 1887.

Bokorny: Das Wasserstoffsuperoxyd und die Silberabscheidung durch

Digitized by Google

actives Albumin, in Pringsheim's Jahrbüchern. Bd. XVII, 1886, und Neue Untersuchungen über den Vorgang der Silberabscheidung durch actives Albumin. Ebend. Bd. XVIII, 1887. Ueber die Einwirkung basischer Stoffe auf das lebende Protoplasma. Ebend. Bd. XIX, 1888. Ueber Aggregation. Ebend. Bd. XX, 1889.

Pfeffer: Zur Kenntniss der Plasmahaut. 1890.

Ida A. Keller: Ueber Protoplasmaströmungen im Pflanzenreich. 1890.

Hauptfleisch: Untersuchungen über die Strömung des Protoplasmas in behäuteten Zellen. Pringsheim's Jahrbücher, Bd. XXIV, 1892.

Janse: Die Bewegung des Protoplasmas von Caulerpa prolifera. Pringsheim's Jahrb. Bd. XXI, 1889.

Crato: 1) Die Physode, ein Organ des Zellenleibes. Ber. d. bot. Gesellschaft. Bd. X, 1892. 2) Beitrag zur Kenntniss der Protoplasmastructur. Ebend. Bd. X, 1892. 3) Morphologische und chemische Untersuchungen über die Physoden. Bot. Ztg. 1893.

Zacharias: Ueber die chemische Beschaffenheit von Cytoplasma und Zellkern. Ber. d. bot. Gesellschaft. Bd. XI, 1893.

Kienitz-Gerloff: Protoplasmaströmungen und Stoffwanderung in der Pflanze u. s. w. Bot. Ztg. 1893. I. Abtheilung. Heft 2.

3. Der Zellkern.

Der Zellkern, den ich sowohl seines abweichenden chemischen Aufbaues, als seiner — allerdings noch nicht genau ermittelten — physiologischen Thätigkeit halber mit Flemming als einen besonderen, selbständigen Theil des Zellleibes auffasse, findet sich in allen lebenskräftigen Zellen der Algen und der sämmtlichen Zell- und Gewebeformen, der Leber- und Laubmoose, der Gefässkryptogamen und Phanerogamen. Nur bei den Pilzen und Flechten ist derselbe bis jetzt nicht überall nachgewiesen, obwohl er sich auch bei diesen niedersten Gewächsen in einzelnen Zellenarten: Sporenschläuchen, Sporen u. s. w., wenigstens in den jüngsten Entwickelungsstufen immer findet. Nach neueren Untersuchungen soll er aber häufig auch in den vegetativen Zellen vorkommen und dürfte vielleicht selbst da, wo er infolge seines mit dem Protoplasma des Zellkörpers gleichen Lichtbrechungsvermögens und seiner Kleinheit halber bisher in lebenden Zellen noch nicht aufgefunden ist, nicht fehlen und durch geeignete, noch aufzufindende Härtungs- und Färbemethoden nachgewiesen werden können. Derselbe kann in der einzelnen Zelle sowohl in der Ein- (Fig. 1 bis 3, S. 1 und 4; Fig. 14, S. 31) als in der Zwei- bis Mehrzahl (Fig. 12, I bis III, a. f. S.) auftreten, und zwar gilt als — wenn auch nicht ausnahmslose — Regel, dass bei allen Pflanzengruppen kürzere Zellen nur einen bis zwei, langgestreckte dagegen mehrere bis viele, dann meist kleine, nur durch gehärtete und gefärbte Präparate sichtbar zu machende Kerne enthalten. Bei den Stengelpflanzen kommen mehrkernige Zellen seltener vor und finden sich solche zu zweien in vielen jungen Pollenkörnern, zu mehreren vorzugsweise in dem Embryosacke, dann in jungen Bastzellen, z. B. bei *Lupulus*, *Urtica* u. s. w. (Fig. 12, II, a. f. S.), in den Milchsaft führenden Röhrenzellen, ferner in

Digitized by Google

langgestreckten älteren oder infolge äusserer Einflüsse abnorm erwachsenen und vergrösserten Parenchymzellen (Fig. 12, I). Häufiger treten vielkernige Zellen bei den Lagerpflanzen auf. So finden sich mehrere Kerne unter den Grünalgen, namentlich in der Familie der Siphoneen (*Vaucheria*), bei den Cladophoraarten u. s. w. (Fig 12, III), in den älteren Zellen der Characeen, ferner der Florideen (*Rhodophyceen*), endlich in den Mycelzellen einer Anzahl von Pilzen.

Zur Beobachtung des Zellkerns eignen sich vorzugsweise grosszellige saftige Gewebe, so z. B. das Gewebe des mittelst Mittelschnitte durch die Samenanlage — und unter Umständen durch unverletzte Frei-

Fig. 12.

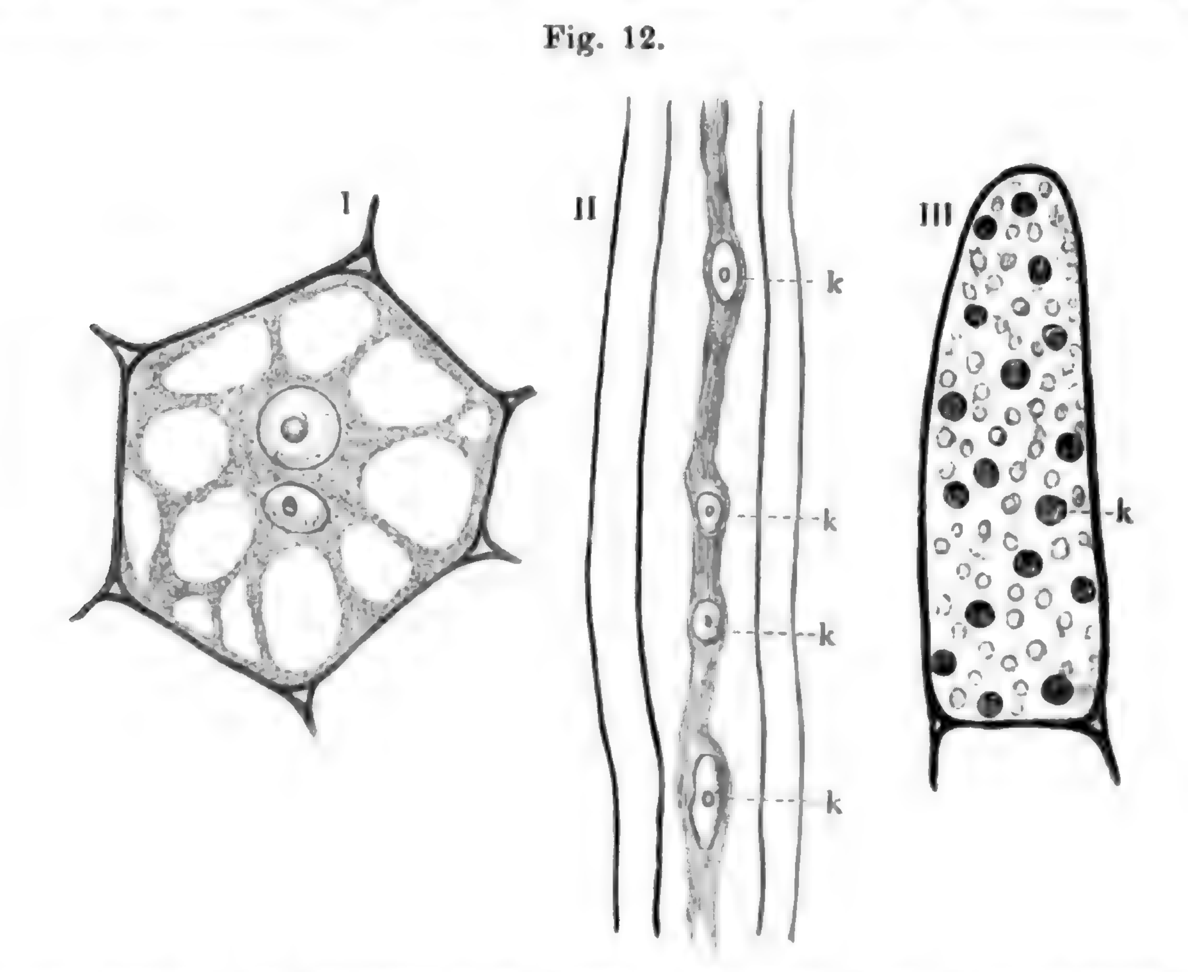


Fig. 12. I Zelle aus dem Querschnitte einer Keimwurzel von Vicia Faba. II junge Bastfaser von Urtica urens. III Spitzenzelle von Cladophora fracta. Vergr. I und II 1 : 400, III 1 : 240.

legung des Embryosackes — sichtbar zu machenden Endosperms (Kürbis, Bohne, Lupine u. s. w.), dann das Stengelparenchym aus manchen Familien der Monokotyledonen, der Orchisgewächse, der Lilien u. s. w., ferner die jugendlichen Haarzellen namentlich der Blätter und Blumenblätter, der Staubfäden und des Fruchtknotens mancher Pflanzen. Bei auszuführenden Schnitten ist dann darauf zu achten, dass dieselben mindestens eine unverletzte Zellenlage enthalten.

Form und Stellung des Zellkernes. — Die entweder an lebendem Material oder an gehärteten und gefärbten Präparaten zu studirende Form des in seiner Grösse je nach dem Alter der Zellen wechselnden, gemeiniglich bald nach seiner Ausbildung die grössten Ausmaasse zeigen-

Digitized by Google

des Zellkernes ist in der Regel linsenförmig (Fig. 13, II a, b und III) oder, und zwar in ganz jungen Zellen, vollkommen oder nahezu kugelig

Fig. 13.

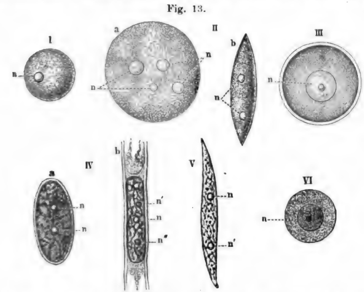


Fig. 13. Einzelne Zellkerne I aus einer jungen Spaltöffnungszelle von Allium cepa, II aus Kleinia spec. mit mehreren Kernkörperchen, *a* Flächen-, *b* Seitenansicht. III alter Kern aus der Frucht von Solanum tuberosum mit doppelt contourirter Haut und grossem, noch ein kleines stärker lichtbrechendes Körperchen einschliessendem Kernkörperchen. IV, *a* aus einer jungen Holz-, *b* aus einer Cambiumzelle von Pinus silvestris. V aus der Oberhaut eines jungen Blattes von Hyacinthus orientalis. VI aus Spirogyra nitida. Vergr. 1 : 1200.

(Fig. 13, I), während er in langgestreckten Zellen eine elliptische bis in zwei Spitzen ausgezogene (Fig. 13, IV a, b und V) Gestalt und in älteren Zellen mehrere Ausbuchtungen erhält. Auf diese Gestaltungen und Gestaltswandlungen hat man bei der Beobachtung verschiedenen Zellenalters und verschiedener Zellenarten stets Bedacht zu nehmen. Wo es angeht, suche man, um über dieses Verhältniss Klarheit zu erlangen, die Zellen zu rollen oder um 90° zu drehen, um so mit der Flächenansicht die Seitenansicht (Fig. 13, II b) zu verbinden.

Fig. 14.

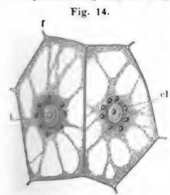


Fig. 14. Zwei Zellen aus der jungen Kapselwand von Marchantia. Vergr. 1 : 1200.

Nächst der Form ist die nach neueren Beobachtungen mit gewissen Seiten seiner Lebensthätigkeit in Beziehung stehende Stellung des Kernes innerhalb des Zellkörpers von Wichtigkeit, und hat man zu untersuchen, ob sich derselbe im Wandplasma eingebettet findet, was am häufigsten der Fall sein

Digitized by Google

dürfte (Fig. 1 auf S. 1), oder ob er, was seltener vorzukommen scheint, im Centrum der Zelle liegt (Fig. 14, a. v. S.). Die Drehung der freien Zellen um ihre Achse wird auch hier die sichersten Anhaltspunkte gewähren. Ebenso bietet zur Entscheidung dieser Frage bei der Ansicht von oben eine geschickte Verwendung der feinen Einstellung ein geeignetes Hülfsmittel, indem man mit Hülfe derselben leicht zu beurtheilen im Stande ist, ob der Zellkern der Wand nahe anliegt oder ob er von derselben mehr oder weniger entfernt und inwieweit er etwa höher oder tiefer liegt als der optische Durchschnitt der Zellwand.

Feinerer Bau des Zellkernes. — An dem ausgebildeten, „ruhenden" Zellkern haben wir folgende Theile zu unterscheiden: Kernhaut, Kernkörperchen (*Nucleolus*), Kerngerüst (Kernfäden, Nucleohyaloplasma Strassburger's), mit den in ihm enthaltenen Chromatinkörperchen (Nucleomikrosomen Strassburger's) und Zwischensubstanz (Kernsaft, Karyenchym Flemming's, Nucleochym Strassburger's).

Zum Studium des Zellkernbaues, welches die besten Objective und starke Vergrösserungen verlangt, verwendet man in der auf S. 11 beschriebenen Weise hergestellte Präparate verschiedenalteriger Gewebe. Zunächst untersucht man die Objecte in lebendem Zustande in einer der indifferenten Zusatzflüssigkeiten (H., S. 696; G., S. 311), oder, wo es angeht, in dem eigenen Safte der betreffenden Gewebe. Die Kerne ganz jugendlicher Zellen zeigen dann ein durch starke Lichtbrechung veranlasstes helles Aussehen, ohne bemerkbare Structur (Fig. 13, I), während ältere Kerne neben dem Kernkörperchen, welches nun deutlicher zu erkennen ist, bei sehr dichtem Fadengerüst feinkörnig erscheinen (Fig. 13, II und VI), oder bei minder dichtem und losem Gerüstwerk die fadenförmige Gerüstsubstanz mehr oder minder deutlich zeigen (Fig. 13, IV und V). Nach Campbell lässt sich auch eine Färbung der lebenden Kerne mittelst Dahlia, Methylviolett und Mauveïn ausführen, welche zu etwas schärferer Zeichnung des feineren Baues führen kann. Man bringt zu dem Ende Stücke der zu untersuchenden Objecte (als sehr geeignet werden die Staubfädenhaare von Tradescantia virginica bezeichnet) mehrere Stunden lang in eine 0,001- bis 0,002 proc. Lösung der genannten Farbstoffe, worauf eine allerdings schwache Färbung von Kernkörperchen und Gerüstsubstanz eintritt.

Hat man sich von der Ausgestaltung des unveränderten — oder doch möglichst unveränderten — Kerns überzeugt, dann geht man zum genaueren Studium der einzelnen Theile und ihrer Lagerungsverhältnisse auf die Beobachtung gehärteter (fixirter) und gefärbter Präparate über. Nach Anderer und meinen eigenen neueren Erfahrungen eignen sich — abgesehen von einer Reihe anderer schon länger in Anwendung befindlicher Verfahrungsweisen — zu deren Herstellung neben der nach

Digitized by Google

vorhergegangener Härtung in Alkohol vorgenommenen oder (vorzugsweise bei Algen) der durch Lösung von Nigrosin in einer gesättigten wässerigen oder 96 proc. alkoholischen Lösung von Pikrinsäure hergestellten Nigrosin-Pikrinsäure (Pfitzer), der Hämatoxylinfärbung, der gleichzeitigen Härtung und Färbung mittelst 1 proc. Methylgrünessigsäure (Strassburger), welche alle bei gut gelungener Entfärbung schöne Bilder liefern, ganz besonders die erst in letzteren Jahren von Hermann (Archiv für mikr. Anat., Bd. 34, Beiträge zur Histochemie des Holzes) und Gram empfohlenen (Fortschritte der Medicin, Bd. III, 1885) — allerdings etwas umständlichen — Methoden. Die Schnitte, welche man ausser von den schon genannten Pflanzen und Pflanzentheilen den Scheinknollen von *Phajus grandifolius* und dem Blatte von *Cymbidium aloefolium* (der verhältnissmässig grossen Chromatinkörper wegen) entnehmen kann, werden nach denselben folgendermaassen behandelt. Nach der ersten Methode bringt man dieselben, nachdem sie etwa einen Tag lang in dem Flemming'schen Chrom-Osmium-Essigsäuregemisch (H., S. 715, G., S. 319) gehärtet und sorgfältig in Wasser ausgewaschen sind, 24 bis 48 Stunden in eine Lösung von 1 g Safranin in 10 ccm Alkohol und 90 ccm Anilinwasser, darauf werden sie nach und nach mit Wasser, Säurealkohol (Alkohol mit 0,5 proc. Salzsäure) und Alkohol derart behandelt, dass sie zur Beobachtung noch zu stark gefärbt erscheinen. Aus dem letzteren bringt man sie auf 3 bis 5 Minuten in eine Lösung von 1 g Gentianaviolett in 10 ccm Alkohol und 90 ccm Anilinwasser, spült rasch mit Alkohol ab, überträgt dann in die gleich zu beschreibende Jodkaliumlösung und lässt darin bis zur völligen Schwärzung, welche in 1 bis 3 Stunden erfolgt, verweilen. Hierauf wird zur Entwickelung der Farbe in Alkohol gebracht, mittelst Xylol aufgehellt und in Canadabalsam eingeschlossen. Nach der zweiten Methode werden die Präparate 24 Stunden lang in das Flemming'sche Chrom-Osmium-Essigsäuregemisch eingelegt, dann ebenso lange unter öfterem Wechseln des Wassers ausgewaschen und hierauf mit Alkohol noch etwas nachgehärtet. Dann bringt man dieselben in eine Lösung von 3 g Anilinöl und 1 g Gentianaviolett in 15 g absolutem Alkohol, mit einem Zusatz von 100 g destillirtem Wasser. Haben die Schnitte etwa 3 bis 5 Minuten in der Färbeflüssigkeit verweilt, so werden sie einige Secunden in absolutem Alkohol ausgewaschen und hierauf in eine Lösung von 1 Theil Jod, 2 Theilen Jodkalium in 300 Theilen destillirtem Wasser gebracht. Endlich wird in absolutem Alkohol so lange (8 bis 10 Minuten) entfärbt, bis das Präparat ein schwach blaues Aussehen erlangt, durch Nelkenöl, Bergamottöl oder Cedernholzöl aufgehellt und in Canadabalsam eingeschlossen. Man braucht indessen bei dieser Färbungsmethode zur Fixirung nicht zu der Flemming'schen Säuremischung zu greifen, sondern kann die weniger umständliche Alkoholhärtung verwenden und erhält dabei im Tone recht schöne Färbungen, Fig. II, 1, 3, 4, 6 und 7, während die Objecte in einem Gemisch aus etwa gleichen Theilen von

Digitized by Google

Wasser, Alkohol und Glycerin in Glyceringelatine oder dem Hoyer'schen Einschlussmittel (H., S. 1014; G., S. 510) aufbewahrt werden können. Zur allerdings vorübergehenden Färbung der Zellkerne wenig durchsichtiger Objecte, wie die Pollenkörner u. s. w., empfiehlt neuerdings A. Meyer (Ber. d. bot. Gesellsch. X, S. 363) den Chloralkarmin. Derselbe wird bereitet, indem man 0,5 g Karmin, 20 ccm Alkohol und 30 Tropfen Salzsäure 30 Minuten lang im Wasserbade in einem Kölbchen im Kochen erhält, dann 25 g Chloralhydrat hinzufügt und nach dem Erkalten die Lösung filtrirt. Die Färbung wird auf dem Objectträger vorgenommen, indem man die Objecte (bei Pollenkörnern legt man, damit dieselben nicht gedrückt werden, ein Haar daneben) in einen Tropfen der Flüssigkeit bringt. Nach etwa 10 Minuten treten dann die Zellkerne scharf und roth gefärbt hervor.

An so behandelten Schnitten wird es in vielen Fällen verhältnissmässig leicht gelingen, sich von dem Dasein einer auch schon bei ungefärbten Kernen wahrnehmbaren äusseren, ungefärbten, meist äusserst zarten, nur bei alten Kernen mehr hervortretenden Haut (Fig. 9, III und IVa; Fig. II, 6) zu überzeugen, welche den Inhalt umschliesst und wohl keinem Kerne im Ruhezustande fehlt.

Das Kernkörperchen (*Nucleolus*), welches bald im Mittelpunkt, bald an der Wand des Kernes liegt, bald in der Einzahl, bald in der Zwei- bis Mehrzahl vorkommt, bald sehr klein, bald von verhältnissmässig bedeutender Grösse ist (Fig. II, 1 bis 6), hier und da auch eine innere Differenzirung zeigt (Fig. 9, III und VI und Fig. II, 7) und in dem Ruhezustande des Kernes niemals fehlt, tritt bei der Hermann-Flemming'schen Methode schön roth, bei der ungeänderten Gram'schen tief violett (Fig. II, 2), bei der abgeänderten blauviolett gefärbt scharf vor den übrigen Elementen hervor (Fig. II, 1, 2, 4, 6 und 7), und es lässt sich mit hinreichender Sicherheit feststellen, dass dasselbe weder in Gerüstfäden eingelagert ist, noch seitlich mit ihnen in unmittelbarer Verbindung steht.

Das Kerngerüst, welches allerdings nicht völlig unfärbbar ist, bleibt bei gut gelungener Entfärbung der Schnitte ungefärbt, tritt aber deutlich sichtbar hervor, während die Chromatinkörperchen bei ersterer Methode eine violettblaue, bei den anderen die oben beschriebene Färbung annehmen. Sind diese letzteren reichlich entwickelt, wie in jungen ruhenden Kernen kurz vor der Theilung, dann erscheinen die vielfach verschlungenen Gerüstfäden, oder der aus einem einzigen Faden gebildete Gerüstknäuel, wo ein solcher überhaupt vorhanden ist, anscheinend ganz gleichmässig gefärbt (Fig. II, 1). In älteren Kernen, in denen die Fäden meist entweder stoffärmer geworden sind, oder in geringerer Zahl auftreten, liegen dagegen die oft auch weniger leicht den Farbstoff aufnehmenden Chromatinkörperchen weiter von einander entfernt in den ungefärbten Gerüstfäden (Fig. II, 2, 3 und 5). Haben die Kerne ein hohes Alter erreicht, dann treten die Chromatinkörperchen

Digitized by Google

nur noch in geringer Menge auf, während an einzelnen Stellen der letzteren grössere — übrigens oft auch in nicht gefärbten fixirten Kernen wahrnehmbare — Chromatinkugeln eingelagert erscheinen (Fig. II, 4), welche theils für Kernkörperchen, theils für Nebennucleolen angesehen worden sind. In ganz alten Kernen gehen die Chromatinkörper sammt den Kernfäden meist in eine gleichartige, sich schwächer färbende Masse über, in der nur die Kernkörperchen noch hervortreten (Fig. II, 6).

Die Zwischensubstanz, welche in jugendlichen Kernen in geringer Menge vorhanden ist, in älteren aber den geformten Bestandtheilen gegenüber überwiegen kann, ist von einer zähflüssigen, gummiartigen Beschaffenheit und verhält sich bezüglich des Färbungsvermögens den Gerüstfäden gleich, d. h. sie bleibt ungefärbt.

Einschlüsse. — Als Einschlüsse finden sich in dem Zellkern nach neueren Untersuchungen Krystalloïde bei Farnen und Phanerogamen, und zwar sowohl in einzelnen, als in fast allen Gewebeformen weit verbreitet. Dieselben wurden zuerst von Radlkofer in den Zellkernen von Lathraea Squamaria, dann von Klein, Leitgeb u. A. in denen von Pinguicula, Utricularia, Galtonia candicans, in Pyrolaarten u. s. w., endlich von Zimmermann in 47 Arten aus 10 verschiedenen Familien (Adiantum macrophyllum: Blatt, Asplenium Nidus: Blatt, Polypodium caespitosum: Blatt, Campanula persicifolia: Fruchtknotenwand, Forsythia suspensa: Blatt, Syringa vulgaris: Blatt, Linaria vulgaris: Blatt, Melampyrum pratense: Blatt und Fruchtknotenwand, Catalpa syringaefolia: Blatt u. s. w.) aufgefunden. Die Zellkernkrystalloïde kommen bald in der Einzahl, bald in der Mehrzahl, ebenso in verschiedenen Grössen und Formen (siehe weiter unten bei „Krystalloïde") vor (Fig. 15) und können durch die auf S. 33 ausführlich beschriebenen Härtungs- und Färbe-Methoden mit voller Sicherheit nachgewiesen und bei ähnlicher Gestalt von den ungefärbt bleibenden Kernkörperchen unterschieden werden (Fig. III).

Fig. 15.

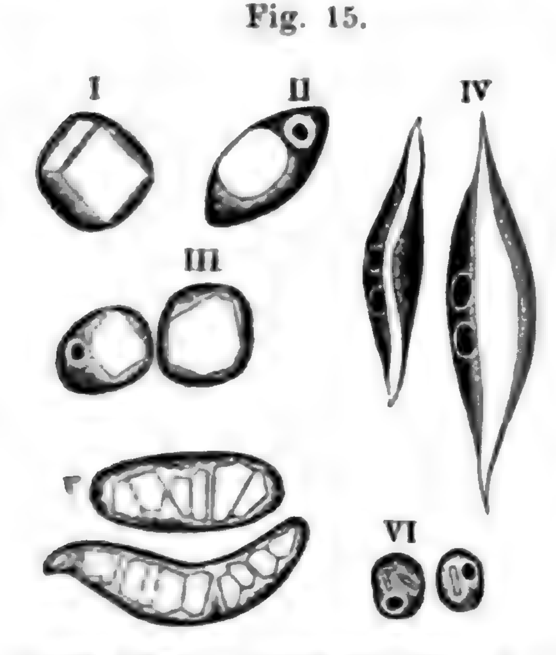


Fig. 15. Zellkerne mit Krystalloiden. I aus dem Schwammparenchym des Blattes von Melampyrum arvense. II aus der Oberhaut des Blattes von Lophospermum scandens. III aus dem Parenchym des Blattes von Candollea adnata (Stylidium adnatum). IV aus der Fruchtknotenwandung von Campanula Trachelium. V aus der Wand einer fast reifen Frucht von Autorolophus major. VI aus der Samenknospe von Mimulus Tillingi (nach Zimmermann).

Chemischer Aufbau des Zellkernes. — In Bezug auf die chemische Zusammensetzung des Zellkernes sind zur Zeit die Ansichten noch nicht vollständig geklärt. Von der einen Seite nimmt man mit Zacharias, der bei seinen einschlägigen Untersuchungen die Ver-

Digitized by Google

dauung mittelst Pepsin-Glycerin (1 Thl. Pepsin-Glycerin, 3 Thle. Wasser und 0,2 proc. chemisch reine Salzsäure), sowie die Behandlung mit 0,3 proc. Salzsäure, Soda- und Chlornatriumlösungen zur Anwendung brachte, an, dass der Kern theils aus verdaulichen Eiweissstoffen, theils, ja sogar hauptsächlich aus nicht verdaubaren Stoffen, und zwar für Zwischenmasse und Kernfäden aus unter dem Namen Plastin zusammengefassten Eiweisssubstanzen, für das Chromatin aus Nucleïn bestehe, während im Kernkörperchen neben ersteren noch Plastin vorkomme. In Bezug auf das Vorkommen von die einzelnen Theile der Kerne durchtränkenden, verdaulichen Eiweissstoffen ist diese Ansicht nicht zu bestreiten, da diese — wenigstens lebenskräftige Kerne — sich nach der Anwendung von Jodlösung oder von Salpetersäure und Ammoniak gelb färben, Zucker und Schwefelsäure eine rosenrothe, schwefelsaures Kupferoxyd und Aetzkali eine violette Färbung bewirken. In Bezug auf die beiden anderen Körper, welche sich dadurch mikrochemisch kennzeichnen und von einander unterscheiden sollen, dass bei Färbung mittelst einer Mischung von Methylenblau und Säurefuchsin (je $^1/_2$ g beider Substanzen in 500 ccm Wasser gelöst) die Nucleïne eine hellblaue, die Plastine eine rothe Farbe annehmen, versuchte jedoch an der Hand der gleich näher zu verfolgenden Untersuchungsmethoden Frank Schwarz über die Baustoffe der Zellkörperchen den, allerdings von anderer Seite bestrittenen Nachweis zu liefern, dass weder Plastin noch ein den Nucleïnen der Chemiker gleicher Stoff in denselben vorkomme.

Für die Chemie des Zellkernes ist sonach neben dem Verfolge der anderseitigen Untersuchungen nach dem Vorgang des letztgenannten Forschers — und zwar, um sofortige Wirkung zu erzielen, an sehr dünnen oder zerzupften Schnitten — dessen Verhalten gegen die Einwirkung des Wassers und aller derjenigen Reagentien zu studiren, welche auch in der Makrochemie zur Darstellung und Unterscheidung der Proteïnstoffe in Anwendung gebracht werden. Es sollen daher in dem Folgenden die von demselben erlangten Resultate der betreffenden Untersuchungen näher dargelegt werden.

Unter der Einwirkung des Wassers lösen sich entweder sämmtliche Kernstructuren mit Einschluss des Kernkörperchens, so an Schnitten aus der Wurzelspitze (1 bis 2 cm von dem Vegetationspunkte) von *Pisum sativum*, aus jungen Internodien der Keimpflanzen von *Vicia sativa*, oder es tritt — wie an Schnitten durch junge Internodien von *Lupinus luteus* und *Vicia Faba* — theilweise Lösung ein, wobei das Kernkörperchen und die Kernhaut ungelöst bleiben, die fadenförmige Gerüstsubstanz, in der sich die Chromatinkörperchen vertheilen, aufquillt und die gelöste Zwischenmasse in am Rande sich bildende Vacuolen übergeht (Fig. 16, II), oder es zeigen sich Zwischen- und Gerüstsubstanz gleich quellungsfähig, und es bildet sich dann entweder ein weitmaschiges Netzwerk (Fig. 16, III), oder es erscheint der Kern unter allmäligem Schwinden des Gerüstes homogen gequollen (Fig. 16, IV bis

Digitized by Google

VI), endlich kann durch Zutritt von Gerbstoff oder Säure, welche in dem Zellsaft vorhanden sind, ein verschiedenes Verhalten eintreten, indem bei Anwesenheit von geringen Mengen durch Schrumpfen der Kernsubstanz ein mittlerer Saftraum auftritt, in welchem das Kernkörperchen schwimmt (Fig. 16, VII), oder indem bei Anwesenheit von grösseren Mengen durch Härtung das Aussehen der Kerne gar nicht verändert und die Lösung verhindert wird, wie z. B. an Schnitten aus dem Stengel von *Aconitum lycoctonum*, aus dem Blatt von *Quercus sessiliflora* u. a. (Gerbstoff), aus dem Blattstiel von *Begonia hydrocotylefolia*, aus den unreifen Beeren von *Vitis vinifera* (Säure).

Fig. 16.

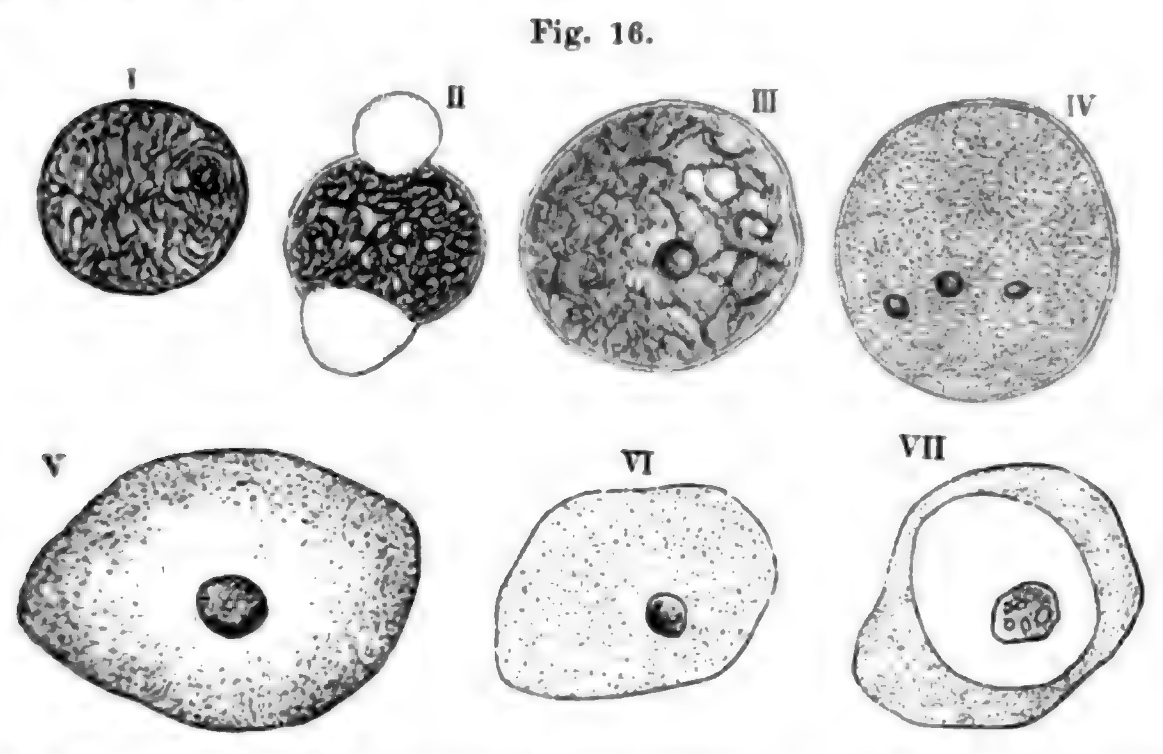


Fig. 16. Zellkerne unter der Einwirkung von Wasser (nach Schwarz). I bis IV aus jungen Blumenblättern von Hyacinthus orientalis. I noch ungequollener Kern mit undeutlichem Kerngerüst. II Vacuolenbildung mit zurückbleibendem Fadennetz. III stärkeres Aufquellen der Zwischensubstanz, Kernfäden noch deutlich. IV auch die Kernfäden verquollen. V bis VII desgleichen von Solanum tuberosum. V Kern aus einem jungen, im Winter ausgetriebenen Sprosse gequollen, am Rande jedoch noch einzelne Fäden und Körnchen erkennbar. VI desgleichen, der ganze Kerninhalt mit Ausnahme des Nucleus zu einer gleichartigen Masse verquollen. VII Kern aus der Knospe einer Knolle, Bildung eines mittleren Saftraumes, in welchem das Kernkörperchen schwimmt. Vergr. I bis VII 1 : 1150.

Von den Reagentien kommen für unsere Zwecke vorzugsweise in Betracht: Kochsalz in 10- bis 20proc. Lösung, Magnesiumsulfat in gesättigter Lösung (der vorigen ähnlich wirkend), Monokaliumphosphat in 5proc. Lösung, Dinatriumphosphat in 1-, 2- oder 20proc. Lösung, Kalkwasser, Kalilauge, 0,1- bis 1proc., Essigsäure, Salzsäure, Ferrocyankalium, Kupfersulfat, Kaliumbichromat, Pepsin und Trypsin.

Nach dem verschiedenen Verhalten gegen dieselben, welches durch die Figuren 17, I bis X und deren Erklärung näher erläutert wird, hat Schwarz folgende Substanzen in den verschiedenen Bestandtheilen des Kernes unterschieden: Chromatin, Pyrenin, Amphipyrenin, Linin und Paralinin.

Digitized by Google

Wenden wir uns zunächst zu den beiden vorzugsweise färbbaren Stoffen, so sollen dieselben nach dem genannten Autor durch folgende Reactionen gekennzeichnet werden. Das Chromatin ist leicht löslich in 20 Proc. Kochsalz, Magnesiumsulfat, phosphorsauren Salzen jeglicher Concentration, Kalkwasser und Alkalien, namentlich aber in mit Essigsäure versetzter verdünnter Ferrocyankaliumlösung (1 Thl. 10 proc. wässeriger Ferrocyankaliumlösung, 2 Thle. Wasser und $^1/_2$ Thl. Eisessig) und concentrirter Lösung von Kupfersulfat, welche Mittel die übrigen Kernstoffe unlöslich machen (Fig. 17, I, II, IV, VI, VIII und IX). Dagegen erweist es sich gegen Säuren als besonders widerstandsfähig (Fig. 17, III). Die Verdauung erfolgt in Trypsin sehr schnell (Fig. 17, X), unterbleibt aber in Pepsin. Das Pyrenin, der Stoff, aus welchem das Kernkörperchen besteht, quillt auf (Fig. 17, III) oder löst sich in 3 Proc. Essigsäure und 1 Proc. Salzsäure in Dinatriumphosphat (schwer). Es ist unlöslich in 20 Proc. Kochsalz, 5 Proc. Monokaliumphosphat (Fig. 17, VI und VII), Ferrocyankalium mit Essigsäure, Kupfersulfat. Gegen Pepsin zeigt es sich minder, gegen Trypsin mehr widerstandsfähig. Man ersieht hieraus, dass die grösseren Chromatinkörper: die „Chromatinkugeln“, und das Kernkörperchen, trotz nahezu gleicher Färbbarkeit, als zwei wesentlich verschiedene Dinge aus einander zu halten sind.

Die nicht färbbaren Stoffe sollen sich in ihren Hauptgruppen, Amphipyrenin einer- und Linin und Paralinin andererseits, ebenfalls leicht von einander trennen lassen.

Das Amphipyrenin, der Baustoff der Kernhaut, zeigt die gleichen Reactionen wie das Pyrenin, so dass sich auf eine nahe chemische Verwandtschaft zwischen Kernkörperchen und Kernhaut schliessen lässt. Linin und Paralinin, aus denen der nicht färbbare Theil des Kerngerüstes und die Zwischenmasse bestehen, sind nahe mit einander verwandt oder unterscheiden sich möglicherweise nicht von einander. In ihrem Verhalten stehen sie zwischen Chromatin und Pyrenin gleichsam in der Mitte. In 20 Proc. Kochsalz, 20 Proc. Monokaliumphosphat, Kalkwasser und meist auch in 1 und 20 Proc. Dinatriumphosphat, 50 Proc. und concentrirter Essigsäure quellen dieselben (Fig. 17, III, VIII und IX), in 5 Proc. Dinatriumphosphat und Kalilauge tritt Lösung, in 0,1 bis 3 Proc. Essigsäure Fällung ein, während 1 bis 20 Proc. Salzsäure weder Lösung noch merkbare Quellung bewirkt. In Trypsin sind beide Stoffe verdaubar, dagegen bleibt in Pepsin Linin unverdaut, während Paralinin in Lösung übergeht, so dass in diesem Verhalten sich das einzige — wenn auch nicht ganz einwandfreie — Unterscheidungsmerkmal beider Stoffe kundgeben würde.

Zur Nachprüfung der durch die Reactionsverfahren erhaltenen Kernbilder, sowie zur sichereren Begründung der daraus abgeleiteten Schlüsse empfiehlt es sich, soweit es die Umstände gestatten, die Färbung nachfolgen zu lassen, die stets Aufschluss darüber geben kann, ob und welche

Digitized by Google

Fig. 17.

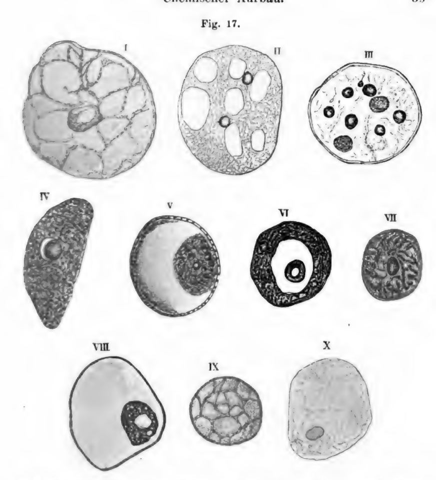


Fig. 17. **Einwirkung verschiedener Reagentien auf den Zellkern (nach Schwarz). I Kern aus der Knolle von Phajus grandifolius nach der Behandlung mit Magnesiumsulfat. Die Gerüstfäden und das Kernkörperchen treten deutlich hervor, die Chromatinkugeln sind gelöst. II desgleichen nach Behandlung mit Ferrocyankalium und Essigsäure. Die Chromatinkugeln sind gelöst und die Kernkörperchen treten deutlich hervor, während die übrige Structur undeutlich erscheint. III desgleichen in 50 proc. Essigsäure. Die grossen Chromatinkugeln treten scharf hervor, die beiden Kernkörperchen erscheinen ziemlich durchsichtig, ebenso die Kernhaut. IV Kern aus dem jungen Blumenblatt von Hyacinthus orientalis. Nach längerer (5 Tage) Behandlung mit Kupfersulfat ist das Chromatin gelöst, das nicht färbbare Fadengerüst und die übrigen Theile erhalten geblieben. V Kern einer durch 10 proc. Kochsalz getödteten Zelle von Platanthera bifolia. Die Kernsubstanz hat sich von der porös erscheinenden Kernhaut zurückgezogen. VI Kern aus dem Parenchym einer jungen Wurzel von Pisum sativum unter der Einwirkung von 1 proc. Monokaliumphosphat. Es ist Schrumpfung des Linins eingetreten und in Folge dessen ein mittlerer Saftraum entstanden. VII Kern aus dem epikotylen Glied der Wurzel von Vicia sativa. Quellung in 5 proc. Monokaliumphosphat, wobei Trennung der Gerüstfäden eintritt. VIII desgleichen in Kalkwasser. Der Kerninhalt ist stark gequollen, ebenso das Kernkörperchen, in dessen Innern sich ein Saftraum gebildet hat. IX Kern aus einer jungen Wurzel von Pisum sativum nach der Behandlung mit gesättigter Kalilauge. Es bleibt nach Lösung aller übrigen Substanzen ein gallertartiges, wahrscheinlich von gequollenem Linin herrührendes Netzwerk zurück. X Kern aus der Knolle von Phajus grandifolius nach $1\frac{1}{2}$stündiger Verdauung in Trypsin nach Grenacher's Methode gehärtet und gefärbt. Ein Rest der Gerüstfasern ist nebst dem Kernkörperchen noch erhalten und es werden dieselben sehr schwach blau gefärbt. Vergr. I bis X 1 : 1450.**

Digitized by Google

färbbaren Stoffe eine Veränderung erlitten haben, oder in Lösung übergegangen sind.

Schleiden: Beiträge zur Phytogenesis. Müller's Archiv 1838. Beiträge zur Botanik 1844. Grundzüge, 1. und 4. Auflage.

Nägeli: Zellenkerne u. s. w. Zeitschrift für wissenschaftliche Botanik von Schleiden und Nägeli. Bd. I, Heft 1, 1844. Kernbläschen Heft 3 u. 4. 1846.

Th. Hartig: Das Leben der Pflanzenzelle, 1844.

H. Karsten: Beiträge zur Kenntniss des Zellenlebens. Bot. Zeitung 1848

H. v. Mohl: Die vegetabilische Zelle, 1850.

Unger: Anatomie und Physiologie der Pflanzen, 1850.

Schacht: Die Pflanzenzelle, 1852, und Lehrbuch Bd. I, 1856.

H. Crüger: Westindische Fragmente. Bot. Zeitung 1855.

Th. Hartig: Ueber das Verhalten des Zellkernes u. s. w. und Beiträge zur Entwickelungsgeschichte der Pflanzenzelle. Bot. Zeitung 1855.

Dippel: Beiträge u. s. w. 1858.

Th. Hartig: Entwickelungsgeschichte des Pflanzenkeims, 1858.

H. Karsten: Histologische Untersuchungen, 1862.

Hofmeister: Die Lehre von der Pflanzenzelle 1867.

Strassburger: 1) Zellbildung und Zelltheilung. 1. Auflage, Jena 1875, 3. Auflage, 1880. 2) Ueber Befruchtung und Zelltheilung. Jena 1878. 3) Einige Bemerkungen über vielkernige Zellen u. s. w. Bot. Zeitung 1880. 4) Ueber Kern- und Zelltheilung im Pflanzenreiche etc. Jena 1888.

Schmitz: 1) Beobachtungen über die vielkernigen Zellen der Syphonocladiaceen. Halle 1879. 2) Untersuchungen über den Zellkern der Thallophyten. 3) Beobachtungen über die Zellkerne der Thallophyten und 4) über die Structur des Protoplasmas und die Zellkerne der Pflanzenzellen. Verhandlungen des naturh. Ver. d. preuss. Rheinl. u. Westph. 1879 und 1880.

Elfving: Studien über die Pollenkörner der Angiospermen in Jenaische Zeitschr. f. Naturw. 1879.

Treub: Sur les cellules végétales à plusieurs noyaux. Arch. Neerl. Tom. XV, 1880 und Notice sur les noyaux des cellules végétales. Arch. de Biol. von van Beneden. Bruxelles T. I, 1880.

Hegelmaier: Ueber aus mehrkernigen Zellen aufgebaute Dikotyledonen-Keimträger. Bot. Zeitung 1880.

Johow: 1) Ueber die Zellkerne in den Secretbehältern und Parenchymzellen der höheren Monokotylen. Bonn 1880. 2) Die Zellkerne der Chara foetida. Bot. Zeitung 1881.

Flemming: Zellsubstanz, Kern und Zelltheilung. Leipzig 1882.

Guignard: 1) Sur la pluralité des noyaux dans le suspenseur embryonaire de quelques plantes. Bull. de la soc. de bot. de France. T. 27, 1887. 2) Note sur les noyaux des cellules des tissus sécréteurs. Ebendas. T. 28, 1882. 3) Recherches sur la structur et la division du noyau cellulaire. Ann. des sc. natur. Bot. Ser. VI, T. 27, 1884. 4) Nouvelles recherches sur le noyau cellulaire. Bull. de la soc. de bot. de France. Ser. II, T. VI, 1884 und Bull. de la soc. de bot. de Lyon 1885.

Kallen: Verhalten des Plasmakörpers von Urtica urens. Flora 1882.

Schmidt: Ueber den Plasmakörper der gegliederten Milchröhren in Bot. Zeitung 1882.

Büsgen: Die Entwickelung der Phykomycetensporangien in Pringsh. Jahresb. 1882.

Schorler: Untersuchungen über die Zellkerne in den stärkeführenden Zellen des Holzes. Jena 1883.

Pfitzer: Ueber ein Härtung und Färbung vereinigendes Verfahren für die Untersuchung des plasmatischen Zellleibes. Ber. d. d. bot. Gesellsch. 1883, S. 44.

Digitized by Google

Wille: Ueber die Zellkerne und die Poren der Wände bei den Phykochromaceen. Berichte der bot. Gesellschaft. Berlin 1883.

Zacharias: 1) Ueber die chemische Beschaffenheit des Zellkernes. Bot. Zeitung 1881. 2) Ueber den Zellkern. Ebendas. 1882. 3) Ueber Eiweiss, Nucleïn und Plastin. Ebendas. 1883. 4) Ueber den Nucleolus. Ebendas. 1885. 4) Referat über die unten verzeichnete Arbeit von Schwarz und 5) Beiträge zur Kenntniss des Zellkernes und der Sexualzellen. Ebendas. 1887.

Fischer: Studien über die Siebröhren der Dikotyledonenblätter und neue Beiträge zur Kenntniss der Siebröhren. Ber. d. math.-physik. Kl. d. k. sächs. Ges. d. Wissensch. 1885 und 1886.

Eidam: Basidiobolus, eine neue Gattung der Entomophthoraceen in Cohn's Beitr. z. Biol. d. Pfl. Bd. III, Heft 2, 1886.

Rosenvinge: Sur les noyaux des Hymenomycètes. Ann. des sc. natur. Bot. Ser. VII, T. 3, 1886.

Berthold: Studien über Protoplasmamechanik. Leipzig 1886.

Schwarz: a. a. O.

Campbell: The staining of living nuclei. Unters. a. d. bot. Instit. zu Tübingen. Bd. II, S. 569, 1887.

Haberland: Ueber die Beziehungen zwischen Function und Lage des Zellkernes. Jena 1887.

Rosen: Zur Kenntniss der Pflanzenzellen. Cohn's Beitr., Bd. V und VI. 1892.

Schottlaender: Beiträge zur Kenntniss der Zellkerne u. s. w. Ebend. Bd. VI, 1892.

Krasser: Ueber die Structur des lebenden Zellkernes. Sitzungsber. der k. Akadem. in Wien, math.-naturwiss. Cl. Bd. CI, Abthlg. 2, 1892.

Zacharias: Ueber Chromatophilie und über die chemische Beschaffenheit von Cytoplasma und Zellkern. Ber. d. Bot. Gesellsch., XI, 1893.

Die Literatur über Zellkernkrystalloïde siehe unter Krystalloïde.

4. Die Protoplasten.

Die ihrer Bedeutung sowie ihrer Verbreitung halber zunächst unsere Beachtung fordernden, unter dem Namen Farbstoffträger (Chromatophoren Schmitz u. A., Plastiden und Trophoplasten A. Meyer, Leucite van Tieghem und Courchet) zusammengefassten Protoplasten sind in ihrem chemischen Aufbau wie in ihren Lebensthätigkeiten einander nahe stehende Protoplasmagebilde, welche sowohl in Bezug auf ihre Entwickelung im Zusammenhang stehen, als auch in mannigfacher Weise in einander übergehen können. Es gehören zu denselben die Weisskörper (Leukoplasten), die Chlorophyllkörper (Chloroplasten) und die Buntkörper (Chromoplasten).

a. Weisskörper.

Die Weisskörper (Leukoplasten, Anaplasten A. Meyer, Leucoleuciten) besitzen bei den Gefässpflanzen eine weite Verbreitung. Sie finden sich in den Dauergeweben überall da, wo in nicht grünen Geweben die Assimilationsproducte in Reservestoffe umgewandelt werden, ferner

Digitized by Google

in allen Bildungsgeweben, in den Eizellen und den sich entwickelnden Keimlingen, endlich in der Oberhaut der Phanerogamen. Dieselben sind schon von Crüger (Botanische Zeitung 1854, S. 7) gesehen, ziemlich richtig beschrieben und abgebildet, aber erst durch Schimper's Untersuchungen genauer bekannt geworden, da dieselben eben sehr vergänglich und bei der geringsten Verletzung der Zellen im Wasser zersetzbar sind. Man muss daher zu ihrer Untersuchung Schnitte verwenden, welche ganz unverletzte Zellenlagen enthalten und diese mit einer indifferenten Flüssigkeit (verdünnte Salz- oder 5 proc. Zuckerlösung) umhüllen, oder, wenn man mit Wasser eindeckt, die Beobachtung möglichst schnell vollziehen. Vortheilhafter verwendet man zu dem Nachweise dieser Körper mit wässeriger Jodtinctur, die ihnen eine gelbbraune Farbe ertheilt, behandelte oder durch Alkohol oder gesättigte alkoholische Pikrinsäure-

Fig. 18.

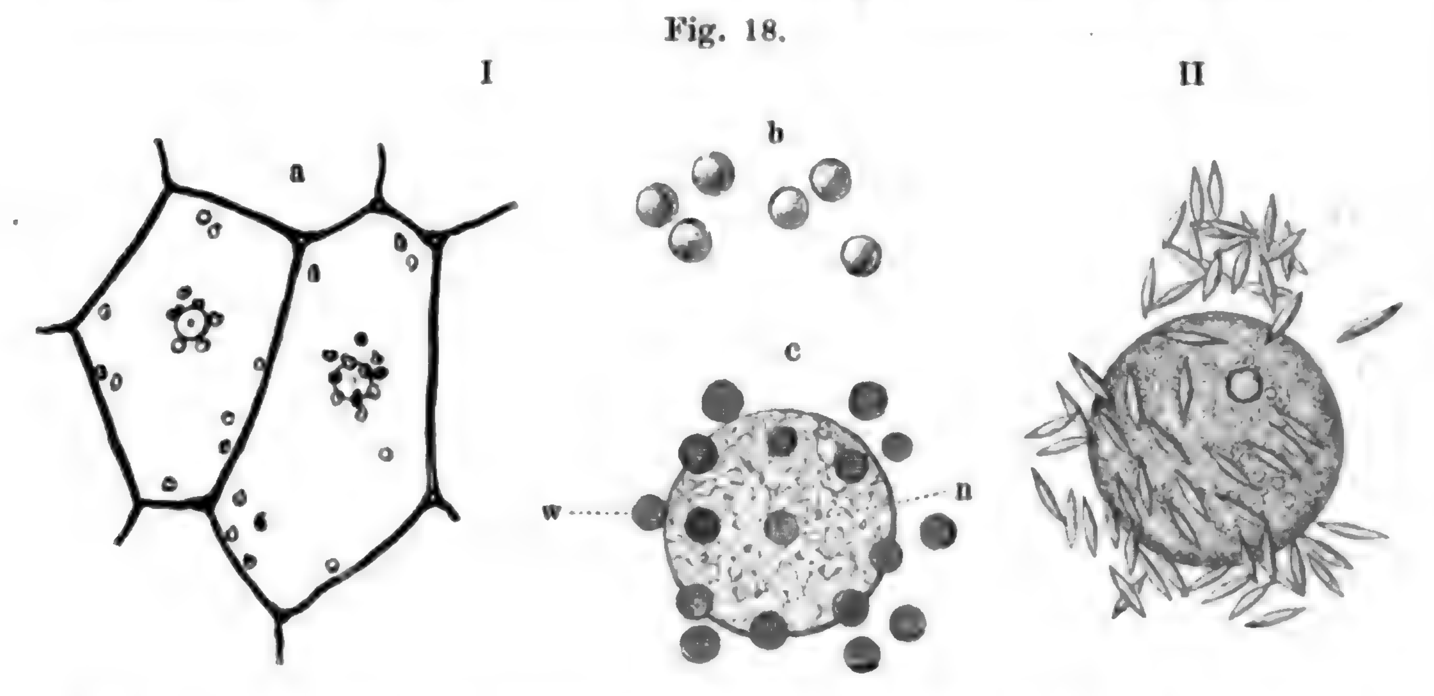


Fig. 18. I, *a* zwei Zellen aus der Oberhaut von Tradescantia viridis mit um den Kern gehäuften und einzelnen zerstreuten Weisskörpern. Vergr. 1 : 370. *b* einzelne der letzteren durch Alkohol fixirt. Vergr. 1 : 1000. *c* Kern mit daran gelagerten Weisskörpern, wie vorige, mit Gentianaviolett gefärbt. Vergr. 1 : 1000. II aus dem Markparenchym der Wurzel von Phajus grandifolius. Junge Weisskörper um den Zellkern angehäuft. Vergr. 1 : 850. (II nach Schimper.)

lösung gehärtete, in Gentianaviolett gefärbte Präparate. Schöne Dauerpräparate kann man sich nach Zimmermann herstellen, wenn man gut gehärtete Schnitte einige Minuten lang in concentrirter Lösung von Säurefuchsin (Fuchsin S, Nr. 130 der badischen Anilin- und Sodafabrik, zu haben bei Dr. Grübler, Leipzig) verweilen lässt, dann ebenso lange in concentrirter Lösung von Pikrinsäure in 50proc. Alkohol umschwenkt, mit 50 bis 70 Proc. Alkohol auswäscht, aufhellt und in Canadabalsam einschliesst. Zu noch besseren Resultaten führt die neuerdings von Zimmermann empfohlene Härtungs- und Färbemethode. Die Härtung geschieht mittelst concentrirter alkoholischer Sublimatlösung, in welcher die Schnitte eine bis mehrere Stunden zu belassen sind. Letztere wird dann vollständig entfernt, indem man die Schnitte zunächst entweder — innerhalb der neuerdings in Gebrauch gekommenen

Digitized by Google

Glassiebe — in fliessendem oder in kurzen Zwischenräumen öfters erneuertem Wasser sorgfältig auswäscht, dann 24 Stunden lang in später durch ähnliches Auswaschen zu entfernenden sehr verdünnten Jodalkohol bringt. Die Färbung wird mittelst einer 0,2 proc. Lösung von Säurefuchsin in destillirtem Wasser bewirkt, worin die Schnitte mehrere bis 24 Stunden verweilen, um dann in fliessendem, oder rasch und öfter gewechseltem Wasser so lange ausgewaschen zu werden, bis unter dem Mikroskope die Zellwände, das Protoplasma sammt den Kernen und Protoplasten farblos erscheinen. Die Beobachtung kann dann in Wasser vorgenommen werden. Will man Dauerpräparate anfertigen, so werden die Schnitte mittelst Alkohols entwässert, dann in eine 10 proc. alkoholische Xylollösung, hierauf in Xylol und von diesem aus in Xylol-Canadabalsam übertragen.

Gestaltung. — Die Gestalt der Weisskörper ist in der Regel eine kugelförmige, nur in Ausnahmefällen eine gestreckte oder fadenförmige,

Fig. 19.

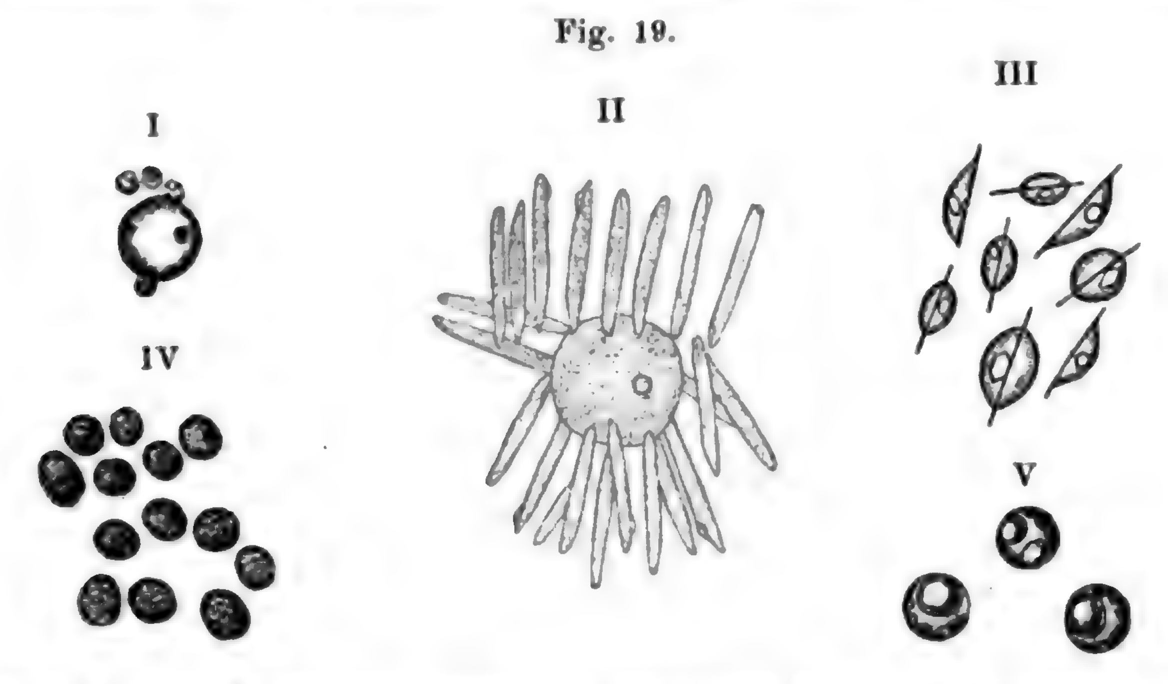


Fig. 19. I Kern mit Weisskörpern, welche kleine Stärkekörner führen, aus dem Markparenchym des Rhizomes von Amomum Cardamomum. II Zellkern mit krystallhaltigen Weisskörpern aus der Blattoberhaut von Colchicum autumnale. III Weisskörper aus einem jungen farblosen Sprosse von Canna Warszewiczii mit nadelförmigen und octaëdrischen Krystallen. IV Weisskörper aus der Wurzel von Iris germanica mit Oeltropfen erfüllt. V Weisskörper aus der Oberhaut von Tradescantia discolor mit Leukosomen. Vergr. 1 : 850. (I bis IV nach Schimper, V nach Zimmermann.)

wird aber durch die in ihnen vorhandenen Einschlüsse mehr oder weniger verändert (Fig. 18 u. 19). Ihre Grösse ist im Allgemeinen eine geringe, schwankt indessen in ziemlich weiten Grenzen. Durch verhältnissmässig hervorragende Grösse und starkes, dasjenige des umgebenden Protoplasmas weit übertreffendes Lichtbrechungsvermögen, zeichnen sich namentlich die Weisskörper mancher Monokotyledonen (in der Blattoberhaut vieler Orchideen und Commelyneen, der Colchicumarten, in den Rhizomen von *Canna*, *Iris*) aus, während andere Familien und Gattungen dieser Classe, z. B. Liliaceen, Gramineen, Cyperaceen, Arumarten, sowie

Digitized by Google

die Dikotyledonen, im Allgemeinen kleine und häufig durch ihr Brechungsvermögen nicht sehr hervortretende Gebilde dieser Art besitzen.

Ueber den feineren inneren Bau der Weisskörper lässt sich bei deren Kleinheit wenig Sicheres ermitteln, doch dürften dieselben gegen das Protoplasma durch ein äusseres Häutchen abgegrenzt sein. Von Einschlüssen sind besonders Stärkekörner (Fig. 19, I, a. v. S.), zu deren Bildung die Weisskörper, die deshalb auch von Schimper zuerst als Stärkebildner bezeichnet wurden, wie wir später sehen werden, in besonderer Beziehung stehen, sowie die ihrer chemischen Beschaffenheit nach zwischen fettem und flüchtigem Oele stehenden „Oeltropfen", welche namentlich in alternden, hier und da aber auch in jungen Weisskörpern auftreten, allerdings ihrer Kleinheit halber an ungefärbten Präparaten aber schwer zu erkennen, durch Färbung mittelst einer 50 proc. alkoholischen Cyaninlösung, in der man die Schnitte $^1/_2$ Stunde lang belässt, sichtbar zu machen sind, zu erwähnen (Fig. 19, IV). Auch die Proteïnkrystalloïde scheinen eine ziemlich weite Verbreitung in diesen Körpern zu besitzen. Hervorzuheben ist, dass alle diese Gebilde nicht immer in der Grundmasse der Weisskörper eingeschlossen sind, sondern häufig denselben aussen ansitzen (Fig. 19, II u. III). Kugelförmige, proteïnartige Einschlüsse fand Zimmermann neuerlich in den Oberhautzellen von Tradescantia discolor und albiflora und einigen anderen Pflanzen. Sie treten daselbst durch ihr über das der Grundsubstanz überwiegendes Lichtbrechungsvermögen hervor (Fig. 19, V) und werden durch die Säurefuchsinfärbung allein gefärbt, während die Grundsubstanz farblos bleibt (Fig. IV).

Chemische Beschaffenheit. — Die chemische Beschaffenheit der Weisskörper harrt noch weiterer Aufklärung. So viel steht indessen — wie schon die Härtungs- und Färbungsfähigkeit darthut — fest, dass dieselbe aus einer Proteïnsubstanz aufgebaut sind, und lässt ihr Verhalten gegen Wasser, 10 Proc. Kochsalzlösung, 0,2 bis 1 Proc. Essigsäure, verdünnte Lösungen von Monokalium- und Dinatriumphosphat (1 bis 5 Proc.), in welchen Mitteln sie äusserst stark quellbar oder löslich erscheinen, sowie ihre Verdaubarkeit in Trypsin und Pepsin darauf schliessen, dass sie aus dem gleichen oder einem sehr ähnlich zusammengesetzten Stoffe bestehen, wie die Zwischensubstanz der Chlorophyllkörper, die wir in dem Folgenden näher kennen lernen werden.

Bezüglich der Stärkeeinschlüsse möge auf das Folgende (unter Stärkekörner) verwiesen sein, während anzuführen ist, dass die „Oeltropfen" sich von fetten wie flüchtigen Oelen durch ihre Unlöslichkeit in Wasser und Essigsäure, ihre Löslichkeit in verdünntem Alkohol und Aether, sowie durch ihr nur ganz allmälig erfolgendes Braunwerden mit Ueberosmiumsäure wesentlich unterscheiden; ferner, dass von den Proteïnkrystalloïden bis jetzt nur ihre Löslichkeit in Wasser festgestellt ist.

Digitized by Google

b. Chlorophyllkörper.

Die Chlorophyllkörper (Chloroplasten Schimper, Autoplasten Meyer, Chloroleuciten van Tieghem und Courchet) zeichnen sich durch ihren Gehalt an grünem Farbstoff, Chlorophyll, aus und sind mit Ausnahme der Pilze und einiger Schmarotzergewächse in dem ganzen Pflanzenreiche, und zwar in allen dem Lichte zugänglichen Geweben und Gewebetheilen, wenigstens auf bestimmten Entwickelungsstufen und zu bestimmten Zeiten verbreitet.

Formverhältnisse der Chlorophyllkörper. — Bei manchen Pflanzen, z. B. bei den Drapernaldien, Mesocarpen, Oedogonien, Spiro-

Fig. 20.

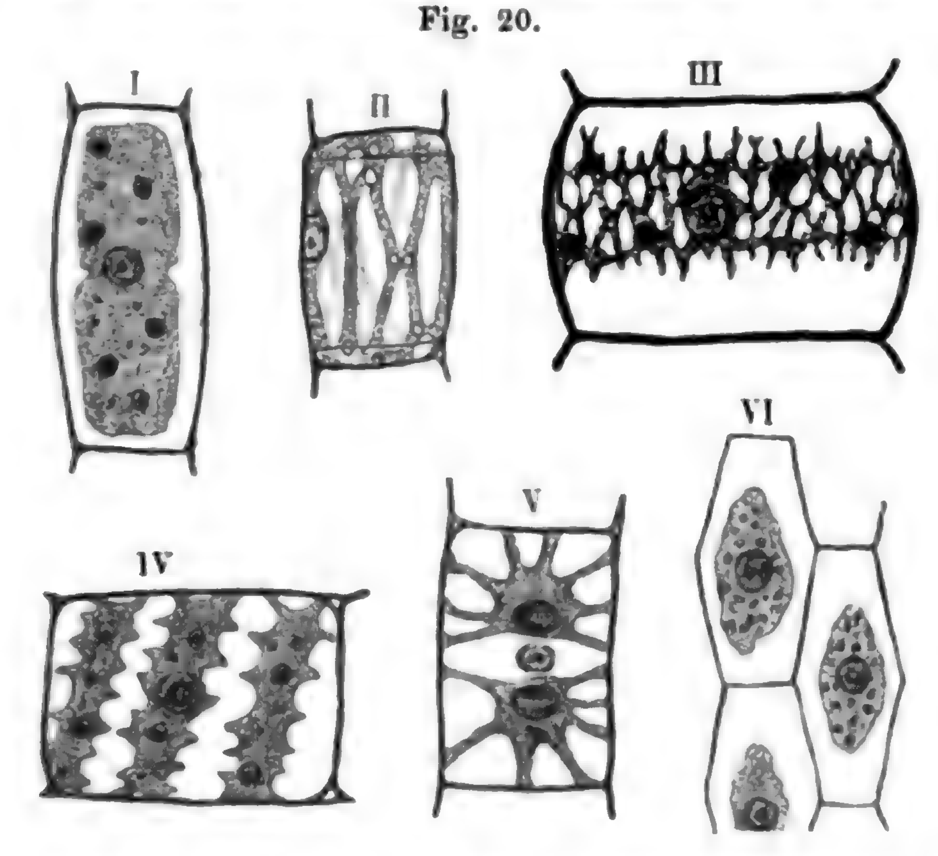


Fig. 20. Chlorophyllkörper von: I Mesocarpus scalaris (nach Schmitz verkleinert). II Oedogonium giganteum. III Drapernaldia distans. IV Spirogyra mitida. V Zygnema cruciata. VI Anthoceros laevis (Zellen aus der jungen Kapselwand). Vergr. I bis VI 1 : 500.

gyren, Zygnemen, Desmidien, Closterien, Penien und anderer Algen, ebenso in den Zellen des Laubes von Anthoceros, bei denen man früher das Chlorophyll an das Gesammtprotoplasma gebunden glaubte, ist meist nur ein einziger grosser Chlorophyllkörper vorhanden, der in den einzelnen Gattungen und Arten eine grosse Mannigfaltigkeit der Gestaltung zeigt, welche am besten am lebenden Material studirt wird, und zu deren Erläuterung hier nur einige dieser Gebilde in Abbildungen angefügt sein mögen (Fig. 20).

Bei der grossen Mehrzahl der Pflanzen treten dagegen die einschlusslosen Chlorophyllkörper, wie sie in den vollkommen entwickelten Blättern der Tulpe, der Stechpalme (*Ilex aquifolium*), des Mauerpfeffers (*Sedum*

Digitized by Google

acre), der Fetthenne (*Sedum Telephium*) u. a. vorkommen, in Form von tropfenähnlichen, kugeligen Körperchen von flachen, kreisrunden bis elliptischen oder, wo dieselben sehr dicht gedrängt liegen, von platten, polyëdrischen Scheibchen, seltener von stäbchen- bis spindelförmigen (längliche Formen deuten meist, biscuitförmige stets auf Theilungsvorgänge hin) Körperchen auf, deren Durchmesser zwischen 0,0075 bis 0,009 mm, d. h. zwischen 7,5 bis 9 μ, schwankt.

Sind grössere, die Form beeinflussende Einschlüsse aus einem oder mehreren Stärkekörnern oder Krystalloïden vorhanden, und es bildet der Chlorophyllkörper über denselben bald einen ganz dünnen, bald einen stärkeren Ueberzug, dann wechselt die Form dieser zweiten Art der Chlorophyllkörner mannigfach. Bald ist dieselbe rund, bald länglich bis stäbchenförmig, und ihre Grösse schwankt von etwa 0,0075 bis zu 0,019 mm oder 7,5 bis 19 μ. Unter die Pflanzentheile, welche derartige Chlorophyllkörper besitzen, gehören z. B. die Epidermis der Antheridien der Laubmoose, die Blätter dieser und der Lebermoose, die Blätter der Mistel (*Viscum album*) und der Wachsblume (*Hoya carnosa*). Ausserdem finden sie sich, wenn die äusseren Schichten der Blätter und grünen Stengeltheile auch nur Chlorophyllkörper erster Art besitzen, immer in deren inneren Schichten, und scheinen überhaupt die weiteste Verbreitung zu besitzen.

Innerer Bau. — Ein wichtiges Verhältniss, auf welches man bei der Untersuchung der Chlorophyllkörper sein Augenmerk zu richten hat, bildet der feinere innere Bau.

Während eine Anzahl von Botanikern, und unter diesen namentlich Hartig und Nägeli, die Träger des grünen Farbstoffes als Bläschen betrachteten, in deren Hohlraum der letztere eingeschlossen sei, ist durch die grundlegenden Arbeiten Mohl's und die ihnen folgenden von Trecul, Sachs u. A. unwiderleglich dargethan worden, dass die Chlorophyllkörper aus einer protoplasmatischen, oder doch protoplasmaähnlichen Grundsubstanz bestehen, welcher der Farbstoff auf- oder eingelagert sei. Diese Arbeiten lassen indessen den feineren Bau noch ausser Betracht, und verdanken wir die Beobachtungen über diesen, zu denen die Untersuchungen Pringsheim's den Anstoss gegeben, erst den letzten Jahren.

Je nachdem nun diese Beobachtungen an fixirtem Materiale, welches allerdings zu irrigen Auffassungen veranlassen kann, oder an lebenden Zellen, welche vor allen Dingen zu verwenden sind, vorgenommen wurden, haben dieselben zu verschiedenen Resultaten geführt. So stehen sich denn bezüglich der vorliegenden Frage mehrere Ansichten gegenüber.

Nach Pringsheim, Schmitz, Tschirch und Bredow, welcher die neuesten eingehenden Untersuchungen ausgeführt hat, sollen die von einer Plasmahaut umgebenen Chlorophyllkörper aus einem engmaschig netzförmigen Fasergerüste bestehen, welches nach den Ersteren

Digitized by Google

nur die äussere Schicht einnimmt, und den inneren Raum für die Einschlüsse (Stärke u. s. w.) frei lässt, nach dem Letzteren aber eine solche Lagerung an und für sich nicht zeigt. Der Farbstoff soll dann nach Pringsheim an eine neben dem das Gerüstwerk durchtränkenden Hypochlorin die rundlichen oder unregelmässig gestalteten Maschenräume ausfüllende ölartige Flüssigkeit, das Lipochlor, nach Schmitz an die Gerüstsubstanz gebunden sein, während Tschirch und Bredow es dahingestellt sein lassen, ob neben Erfüllung der Maschenräume nicht auch das Schwammgerüst mit demselben überzogen sei.

Nach A. Meyer und Schimper bestehen dagegen die Chlorophyllkörper aus einer mehr oder weniger farblosen Grundsubstanz, welche nach dem Einen dunkelgrün gefärbte Körner oder Kugeln, nach dem Anderen mit einer zähflüssigen, grüngefärbten Substanz erfüllte Vacuolen enthält, die von beiden Forschern als „Grana“ bezeichnet werden.

Eine mehr vermittelnde Stellung nimmt die in neuester Zeit von Frank Schwarz vertretene Ansicht ein. Nach dieser besitzen die Chlorophyllkörper, an denen zunächst eine eigene Haut noch nicht nachweisbar sein soll, eine Faserstructur, bei welcher indessen die Fasern kein Netzwerk bilden, sondern im unverletzten Zustande dicht neben einander liegend und wenig verschlungen die ganze Masse der ersteren ausfüllen, so dass man ihre Grenzen nicht wahrnehmen kann. Dieselben sollen als durch eine farblose Zwischensubstanz verbunden („verkittet“) und ungleich gefärbt erscheinen, indem sie in der heller grünen Grundmasse dunkler grüne Grana (Vacuolen und Kugeln) enthalten.

Zur Orientirung über die schwebenden Fragen, welche die Benutzung unserer besten optischen Hülfsmittel und die peinlichste Sorgfalt in Anspruch nimmt, sind zunächst lebende Zellen dünner Laubblätter (Moose, Farnvorkeime u. s. w.), ferner nicht zu dünne, aber doch hinreichende Durchsichtigkeit gewährende Schnitte, durch geeignete, und zwar am besten von Stärkeeinschlüssen freie Chlorophyllkörper führende Gewebe der Untersuchung in indifferenten Flüssigkeiten oder noch besser in fettem Oele zu unterwerfen und dann der Einfluss verschiedener Mittel zu beobachten.

In lebendigen Zellen wird, wenn — was nach meinen eigenen neueren Beobachtungen der wahre Sachverhalt zu sein scheint — die Netzgerüste nur schwach, die Maschenräume, d. h. die sogenannten Grana dagegen stark gefärbt, also gut sichtbar sind, das Bild bei schwächeren Vergrösserungen und kleinem Oeffnungswinkel sich so darstellen, als ob letztere in einer hellgrünen, gleichartigen Grundsubstanz gleichmässig vertheilt seien (Blätter der Orchideen, von *Plectogyne variegata*, *Vallisneria spiralis*, Stengel der Tradescantiaarten (Fig. V, 1 bis 3). Sind dagegen die Grana sehr klein, dicht gedrängt und die Gerüstbalken nach Umständen stärker gefärbt, so gewinnen die Chlorophyllkörper ein Aussehen, als ob sie vollkommen gleichartig wären (*Mnium undulatum*) (Fig. V, 4). Bei stärkeren Vergrösserungen und grösserer numerischer

Digitized by Google

Apertur, also bei Beobachtung mittelst Oel-Immersionssystemen oder Axochromaten und passender Regulirung der Beleuchtung, lässt sich jedoch bei geeigneten Objecten (z. B. Selaginetta, Vallisneria) die schwammförmige Structur des Gerüstes schon am lebenden Chlorophyllkern meist deutlich erkennen.

Um den feineren Bau sichtbar zu machen, kann man nach Schwarz die Chlorophyllkörper durch kurzdauernde Behandlung mit Wasser einer

Fig. 21.

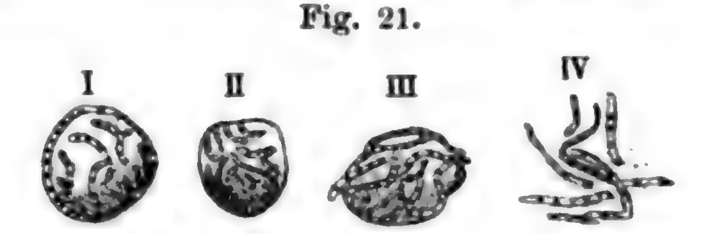


Fig. 21. Chlorophyllkörper von Tradescantia virginica. I bis IV verschiedene Stufen kurzdauernder Einwirkung von Wasser (5 Minuten) fixirt und gefärbt; bei III Auseinanderweichen der Fäden, bei IV dieselben vollständig getrennt (nach Schwarz). Vergr. 1:1450.

leichten Quellung aussetzen, und dann durch schwache — zugleich Färbung bewirkende — Jodlösung oder die Flemming'sche Mischung fixiren. Derselbe erhielt dabei angeblich Bilder, an denen durch das Quellen der Zwischensubstanz deutlich die granulirten Fibrillen zunächst auseinanderweichend schärfer hervortraten und schliesslich sich vollständig von einander trennten (Fig. 21, I, II, III und IV). Aehnliche Bilder erhielt er durch Quellung mittelst 10proc. Kochsalzlösung, wobei auch die Grana sehr deutlich hervortraten (Fig. VI, 1 u. 2a, b). Die Fäden mit Vertheilung der Grana in ihrer Substanz wurden durch verdünnte 0,2 bis 1proc. Essigsäure sichtbar gemacht (Fig. VI, 3) und wäre die Wirkung der verschiedenen Concentrationsgrade zu studiren, welche hier auf einem leichten Schrumpfen der Fäden mit etwas Quellung der verkittenden Zwischensubstanz beruhen soll. An lebend homogen erscheinenden Chlorophyllkörpern sollen die Grana zur Anschauung gebracht werden können, wenn man die Präparate in concentrirte, etwa 20proc. Zuckerlösung oder frisches Hühnereiweiss bringt, indem dieselben dann nach einiger Zeit deutlich hervortreten (Fig. VI, 4).

Wirken die beiden ersteren Mittel auf durch das Schneiden, durch Druck u. s. w. verletzte Chlorophyllkörper, dann werden dieselben in Häufchen von einzelnen granulirten Fadenstückchen verwandelt, während die stark gequollene Zwischensubstanz durch Jod, Jodkaliumlösung als feinkörnige Masse niedergeschlagen werden kann (Fig. VI, 2a und 5).

Auf das Vorhandensein einer Plasmahaut, welche, wie schon erwähnt, nicht unmittelbar nachgewiesen werden kann, lässt das Verhalten bei längerer Wasserwirkung im Gegensatze zu demjenigen in verdünnter Zuckerlösung und verdünnten Lösungen von Neutralsalzen schliessen. Bei ersterer findet nämlich Vacuolenbildung statt (Fig. 22, I bis III), während sie in den letztgenannten Mitteln unterbleibt, und diese Thatsache dürfte dahin zu erklären sein, dass eine Grenzschicht des Chloro-

Digitized by Google

phyllkörpers für jene Stoffe undurchlässig ist, welche in demselben osmotisch wirksam sind.

Ganz abweichende Resultate erhielt Bredow. Nach diesem werden im ersten Fall durch die vermehrte Wassereinlagerung anfangs die kein Grana zeigenden Balken des Schwammgerüstes breiter und die Maschenräume deutlicher, während später unter vorherigem Auftreten von fibrillenartigen Gebilden vollkommene Homogenität eintrat. Bei Anwendung der Kochsalzlösung erschien das Gerüst sehr deutlich, während von Fibrillen nichts und eben so wenig von Granula in denselben etwas zu erkennen

Fig. 22.

Fig. 22. Chlorophyllkörper von Tradescantia virginica nach zweistündigem Liegen im Wasser fixirt. Vergr. 1 : 1450.

war. Verdünnte Essigsäure liess die innere Structur keineswegs schärfer hervortreten. Die Netzbalken quollen darin auf, es trat Vacuolenbildung ein, und der Farbstoff vertheilte sich gleichmässig aus den Maschen heraus, so dass nur noch einzelne dunkle Punkte zu erkennen waren. Die Einwirkung von Eiweiss und Zuckerlösung ergaben für die Lösung der vorliegenden Frage nur wenig belangreiche Resultate.

Da nach dem Vorausgehenden die Ansichten über die feinere innere Structur der Chlorophyllkörper noch nicht völlig geklärt erscheinen und es immerhin im Bereiche der Möglichkeit liegt, dass das Grundgerüst einen dem des Kerngerüstes ähnlichen Bau besitzt, so dürften erneute Untersuchungen wohl am Platze sein. Für diese werden dann auch mittelst absoluten Alkohols von ihrem Farbstoffe und Oeleinschlüssen befreite und gehärtete und darauf gefärbte Chlorophyllkörper heranzuziehen sein.

Einschlüsse. Ausser den Bestandtheilen des inneren Baues finden sich in den Chlorophyllkörpern mehr oder minder verbreitet noch gewisse geformte Einschlüsse, welche am besten an Schnitten beobachtet werden, aus deren Chlorophyllkörper der Farbstoff durch Alkohol oder Aether ausgezogen wurde.

Am weitesten sind Stärkekörner als solche verbreitet und finden sich dieselben bei allen höher entwickelten Pflanzen, mindestens zu gewissen Zeiten in allen assimilirenden, grün gefärbten Geweben.

Dieselben treten bei Beobachtung in indifferenten Zusatzflüssigkeiten in den fertigen Chlorophyllkörpern innerhalb der vorher anscheinend homogenen Chlorophyllmasse in Gestalt eines oder mehrerer kleinen Körnchen auf (Fig. 23, II und III a, a. f. S.), welche nach und nach an Grösse

Digitized by Google

zunehmen (Fig. 23, I bis III a, b, c) und den Chlorophyllkörper mehr und mehr ausdehnen, so dass die umhüllende Schicht immer dünner wird, bis sie zuletzt ganz verschwindet und die jungen Stärkekörner frei zu Tage treten. Wo die Chlorophyllkörper mehrere Stärkekörner enthalten, da platten sich letztere in Folge ihrer Grössenzunahme an den sich berührenden Seiten häufig ab, so dass sie hier polyëdrische Flächen erhalten

Fig. 23.

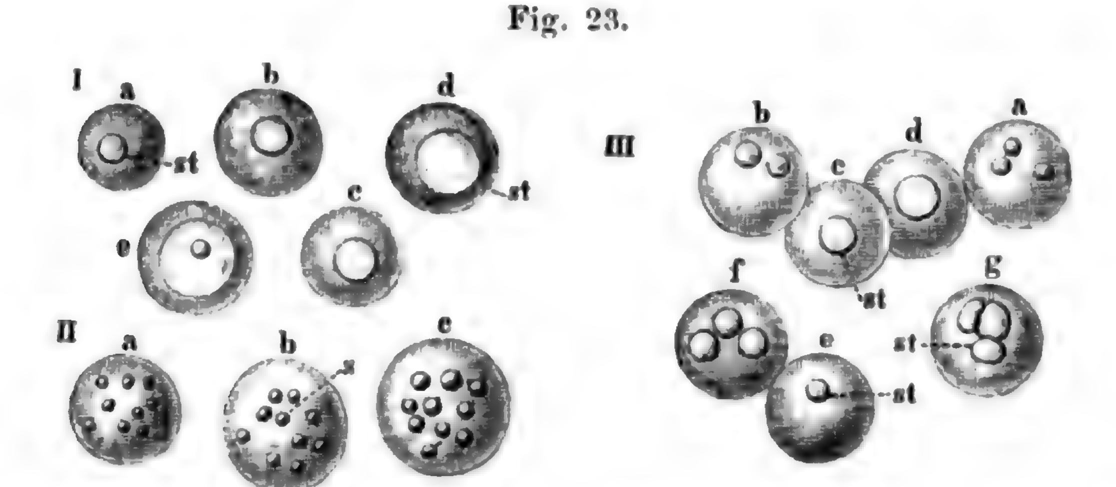


Fig. 23. Chlorophyllkörner mit Stärkekörnern. I, *a* bis *e* aus dem Blatte von Mikania scandens mit einzelnen Stärkekörnern. II, *a* bis *c* aus dem Blatte von Tradescantia mit zahlreichen Stärkekörnern. III, *a* bis *g* aus dem Blatte von Basella alba mit einzelnen und mehreren Stärkekörnern; *st* Stärke. Vergr. 1 : 1280.

(Fig. 23, III g), während dem freien Theile der Oberfläche die sphärische Form bleibt.

Weit weniger häufig und bis jetzt nur durch Schimper in den Familien der Orchideen, Cannaceen und Boragineen, von Zimmermann auch in denen der Berberideen, Caryophyllaceen, Araliaceen, Aceraceen, Convolvulaceen und Amarantaceen als allgemeiner verbreitet nachgewiesen, trifft man die später näher zu besprechenden Proteïnkrystalloide. Dieselben besitzen mit Ausnahme der Chlorophyllkörper in der Oberhaut von *Cerinthe glabra* nur eine geringe Grösse, eine meist gestreckte, säulen- bis nadelförmige, selten eine würfelförmige oder abgeplattet octaëdrische, dreieckige oder sechsseitige — Rhizom von *Canna*, Blatt von *Viscaria vulgaris*, Deckblätter von *Strelitzia Regina*, *Berberis vulgaris* —, bisweilen auch rundliche Gestalt (Fig. 24, I bis III). Zum Nachweise härtet man mittelst Alkohol und färbt mit Safranin oder man verfährt nach der S. 42 beschriebenen, etwas abgeänderten, auch für die Krystalloide der Weisskörper zu empfehlenden Zimmermann'schen Methode, indem man das Säurefuchsin mittelst auf 50° bis 60° erwärmter verdünnter (1 Thl. gesättigter Lösung auf etwa 50 Thle. Wasser) Kalibichromatlösung auswäscht. Die Krystalloide erscheinen dann innerhalb der blassrothen Chlorophyllkörper kräftig roth.

Tropfen eines ölartigen, in verdünntem Alkohol und Aether löslichen, noch nicht näher bekannten Stoffes, die aber zur Zeit noch allgemein als „Oeltropfen" bezeichnet werden, sind schon von Nägeli u. A. erkannt, aber erst in neuerer Zeit, namentlich von A. Meyer und Schimper,

Digitized by Google

als weiter verbreitet nachgewiesen worden, und stellen wahrscheinlich ein Ausscheidungsproduct der Chlorophyllkörper dar (Fig. 24, IV). Dieselben finden sich bei den Phanerogamen innerhalb der letzteren, während sie bei den Algen meist an der Oberfläche liegen und sich häufig loslösen sollen. Bei den erstgenannten Pflanzen erscheinen diese Einschlüsse in den sommergrünen Blättern kurz vor Entfärbung und Abfallen, in den

Fig. 24.

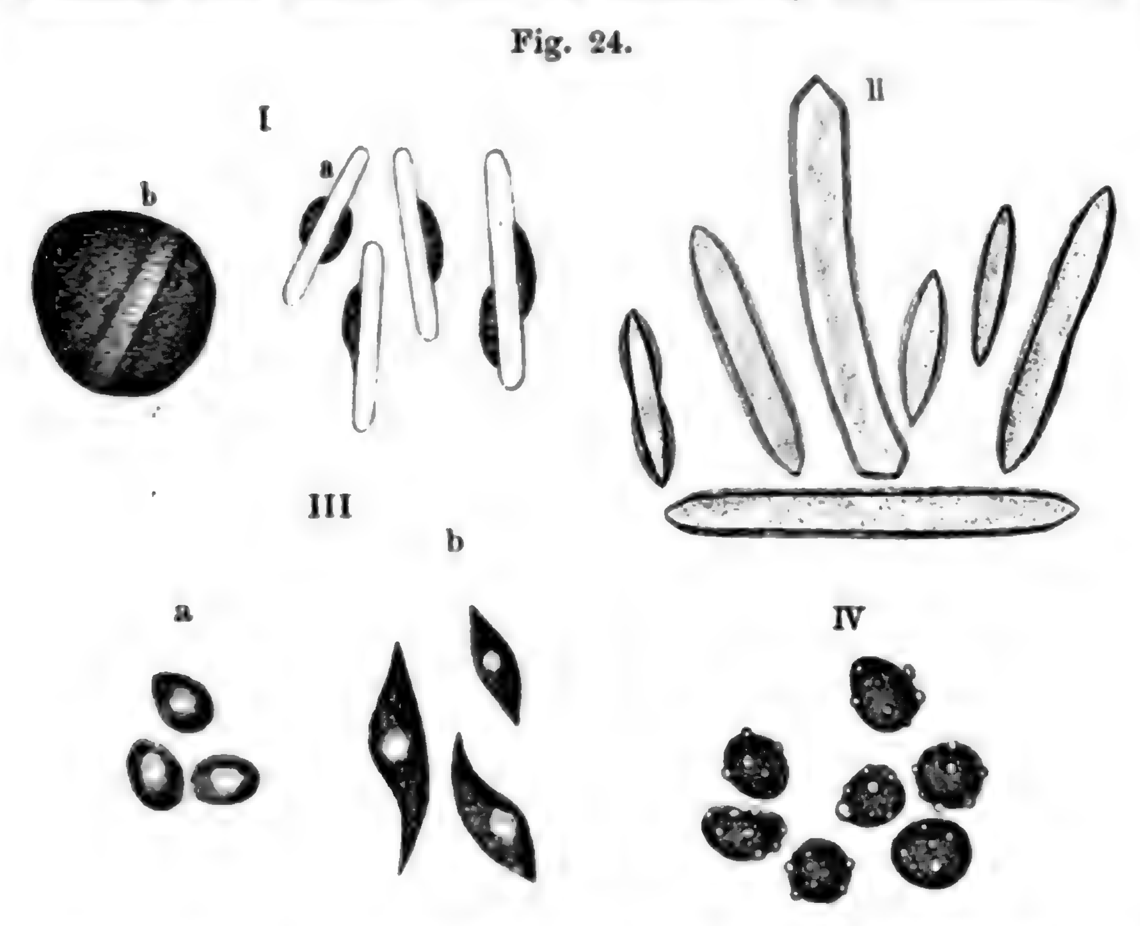


Fig. 24. Chlorophyllkörper von Phajus grandifolius. I, *a* aus der Aussenrinde der Knolle mit freiem Proteïnkrystall und Oeltröpfchen, *b* ebendaher mit eingeschlossenem Proteïnkrystall und kleinen Oeltropfen. II desgl. aus der Rinde eines alten Stengels von Cerinthe glabra mit grossen Proteïnkrystallen. III desgl. aus der Aussenrinde des ergrünten Rhizoms von Canna gigantea mit rhomboëdrischen Proteïnkrystallen. IV desgl. aus einem alten Blatte von Funkia cordata mit farblosen Oeleinschlüssen (nach Schimper). Vergr. I, II und IV 1:650, III 1:850.

immergrünen dagegen schon früher. Zum Nachweis dieser Einschlüsse und namentlich auch um einer Verwechselung mit den Grana vorzubeugen, behandelt man die Schnitte mit Wasser oder verdünnter Essigsäure, worin sich nach längerer Einwirkung die Grana in den Fäden vertheilen, während die Oeltropfen sich nicht lösen. Auch die braune Färbung mittelst Ueberosmiumsäure — und zwar schon mittelst der in der Flemming'schen Flüssigkeit enthaltenen Menge — welche allerdings erst nach längerer Zeit erfolgt, dann die rosenrothe mittelst Alkannatinctur, die blaue mittelst Cyanin (H., S. 721; G., S. 332), sowie in gewissen Fällen die reichliche Speicherung von Hanstein'schem Methylviolett, können die erforderlichen Aufschlüsse gewähren.

Bei den Algen, und zwar sowohl bei manchen Grünalgen wie Florideen, ferner bei der Lebermoosgattung Anthoceros, finden sich eigenartige, tropfen- oder krystalloidartige, selten auch — bei Dichranochaete

Digitized by Google

(Hieronymus) — aus einem von einer proteïnartigen Hüllmasse umgebenen Krystalloid bestehende Einschlüsse, welche meist von einer aus einzelnen Stärkekörnchen durch Verwachsung entstandenen, hohlkugelförmigen Schale umschlossen werden (Fig. 25). Früher bezeichnete man diese Gebilde, da man sie, was indessen dahingestellt bleiben muss, mit der Stärkebildung in Beziehung brachte, als Stärkeherde oder Amylumkerne, während in neuerer Zeit der von Schmitz ihnen beigelegte Name Pyrenoide allgemein im Gebrauch ist. Zur Untersuchung dieser Gebilde werden Fäden von Cladophora, Spirogyra, Schnitte aus dem Laube von Anthoceros u. s. w. entweder in Pikrinsäurenigrosin (concentrirte wässerige Pikrinsäurelösung mit einigen Tropfen wässeriger Lö-

Fig. 25.

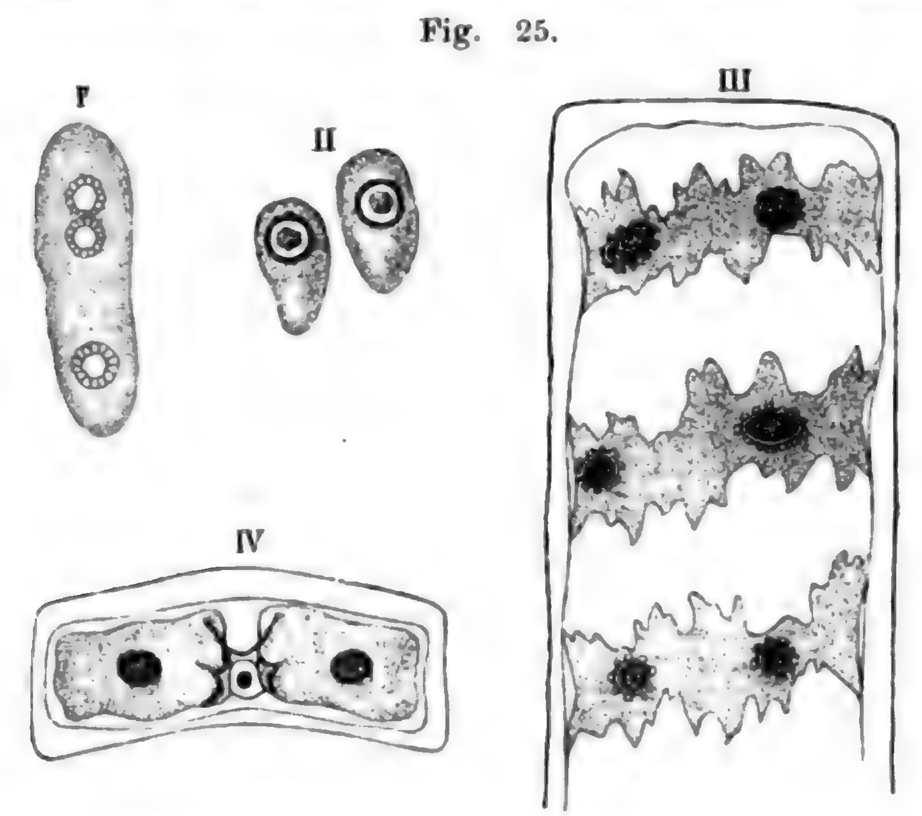


Fig. 25. Pyrenoide mit Stärkehüllen. I aus Bryopsis plumosa. II desgleichen nach Behandlung mit Pikrinalkohol; die Stärkehülle hat sich vom Pyrenoid weggezogen (nach Schimper). III aus Spirogyra spe. (Pikrin-Hämatoxylin-Präparat); Stärkehülle eben angelegt mit kleinen Körnchen, Pyrenoide ein wenig geschrumpft, zwei davon in Theilung begriffen (nach Schmitz). IV nackte Pyrenoide aus von Achnanthes subcessilis (Osm. Glyc.-Präp.) in Gürtelbandansicht (nach Schmitz). Vergr. I und II 1 : 850, III und IV 1 : 800.

sung von Nigrosin versetzt), und zwar zur Zerstörung des grünen Farbstoffes, 8 bis 10 Stunden lang eingelegt, in Spiritus ausgewaschen und in verdünntem Glycerin beobachtet, oder man behandelt die Objecte in gleicher Weise mit einer mit einigen Tropfen Säurefuchsin versetzten gesättigten Pikrinsäurelösung in 50proc. Alkohol, worin sie etwa 2 Stunden verweilen gelassen, dann 1/4 Stunde in Alkohol ausgewaschen und endlich zur Beobachtung möglichst schnell in Canadabalsam übertragen werden. Die Pyrenoide sind dann fixirt und erscheinen im ersten Falle hellblau gefärbt, während die Zellkerne eine dunklere Färbung annehmen, im anderen kräftig roth. Mittelst alkoholischer Sublimatlösung gehärtete und gut ausgewaschene, dann etwa 24 Stunden lang

Digitized by Google

in 0,2 proc. Säurefuchsinlösung belassene, $^1/_4$ Stunde in Wasser ausgewaschene, hierauf entwässerte (etwa mittelst des F. E. Schulz'schen Entwässerungsgefässes: Archiv für mikroskp. Anatomie, Bd. 26, S. 539) und in Canadabalsam übertragene Objecte zeigen die Pyrenoide allein kräftig roth gefärbt. In der Flemming'schen Mischung gehärtete Präparate zeigen bei Färbung mit Boraxcarmin die Pyrenoide stark lichtbrechend und kaum gefärbt innerhalb der ungefärbten Stärkehülle, während Hämatoxylinlösung die ersteren schwächer als die Zellkerne, die Stärkehülle nicht, Safranin bei sonst ähnlichen Stärkeverhältnissen die letztere rosa färbt.

Chemisches Verhalten der Chlorophyllkörper. — Nach älteren Untersuchungen, namentlich von Sachs, war es zweifellos, dass die Chlorophyllkörper, abgesehen von dem grünen Farbstoffe, aus einer protoplasmatischen Substanz aufgebaut seien. Zacharias nahm im Hinblick auf die Reactionen der Chlorophyllkörper gegen Ferrocyankalium mit Essigsäure und Eisenchlorid, sowie gegen Pepsin-Salzsäure an, dass dieselben neben Eiweiss reichlich Plastin enthalten. Nach den Untersuchungen von Schwarz sollen die Baustoffe aus Chloroplastin und Metaxin bestehen, von denen das erstere die voranstehend morphologisch betrachtete Gerüstsubstanz, das letztere die Zwischensubstanz bilden.

Das Chloroplastin steht nach seinem Verhalten dem Plastin des Protoplasmas sehr nahe. Die Unterschiede zwischen beiden Stoffen bestehen vorzugsweise darin: 1) dass das erstere eine geringere Löslichkeit in 5- und 20 proc. Dinatriumphosphat zeigt als das letztere; 2) dass es in verdünnter Kalilauge nur eine weitgehende Quellung erleidet, während sich das Plastin schon löst; 3) dass in 1 proc. Salzsäure das Chloroplastin stark quillt, während das Plastin gelöst wird; 4) dass in 3 proc. Essigsäure das Chloroplastin stärker quellbar ist, als das Plastin.

Das Metaxin ist in Wasser, 10 proc. Kochsalz, 1- und 5 proc. Monokaliumphosphat, 0,2- und 1 proc. Essigsäure stark quellbar oder löslich, in Pepsin sowie in Trypsin verdaubar und unterscheidet sich dadurch wesentlich von dem Chloroplastin, welches in ersteren Mitteln unlöslich oder nur sehr wenig quellbar, in den letzteren unverdaubar erscheint.

In Bezug auf die chemische Natur der Einschlüsse lässt sich feststellen, dass die Krystalloide und Pyrenoide sich durch ihre Härtungs- und — allerdings nicht gegen alle Färbeflüssigkeit gleich grosse — Färbungsfähigkeit als aus einem Proteïnstoff aufgebaut erweisen, der nach seinem, demjenigen eben für das Metaxin geschilderten ähnlichen, Verhalten gegen Wasser (nur die Krystalloide der Canna sollen in diesem unlöslich sein) u. s. w., diesem letzteren, falls es sich in der That als Baustoff des Chlorophyllkorns erweisen sollte, mindestens sehr nahe steht.

Ueber die chemische Zusammensetzung des grünen Farbstoffes des Chlorophylls ist man zur Zeit, trotz vielfacher in dieser Richtung unter-

Digitized by Google

nommener Untersuchungen noch nicht im Reinen. Das von Pringsheim als Träger des Farbstoffes angesehene Lipochlor, welches sich in Form von sich später bräunlich färbenden, aber nicht krystallisirenden Tropfen ausscheidet, wenn man chlorophyllhaltige Gewebe mit Wasser erwärmt und dann Salzsäure zusetzt, ist nach neueren Untersuchungen von höchst hypothetischer Natur. Das Gleiche gilt von dem Hypochlorin desselben Autors, welches nach Behandlung mit 20proc. Salzsäure oder Eisessig in Form von braunen Kügelchen austritt, an denen nach kürzerer oder längerer Zeit braun gefärbte krystallinische Gebilde oder Nadeln auftreten. Dieser Stoff ist ein wahrscheinlich mit dem Chlorophyllan Hoppe-Seiler's zusammenfallendes Zersetzungsproduct, dessen Auftreten insofern für uns von Interesse ist, als es zum mikrochemischen Nachweis des Chlorophylls dienen kann.

Sehen wir von dem rein chemischen Aufbau ab, so haben es die Untersuchungen der neueren Zeit höchst wahrscheinlich gemacht, dass in dem Chlorophyllfarbstoff zwei verschiedene Farbstoffe neben einander vorhanden sind, welche sich durch ihr verschiedenes spectroskopisches Verhalten unter sich, wie gegen das unveränderte Blattgrün unterscheiden und als Chlorophyllgrün (Chlorin K. Kraus) und Chlorophyllgelb [Xanthophyll, Xanthin (K. Kraus), Autoxanthin], welches nach Arnaud und Immenhof mit dem Farbstoff der Möhre, dem Carotin, identisch sein soll, bezeichnet werden können.

Die Entmischung des Chlorophylls gelingt für unsere Zwecke schon ausreichend, wenn man nach Hansen eine alkoholische Chlorophylllösung mit $^1/_3$ bis $^1/_2$ Raumtheil Wasser versetzt, dem Gemische den gleichen Raumtheil Petroläther beifügt und ausschüttelt. Das Chlorophyllgrün wird hierbei von dem letzteren aufgenommen und scheidet sich über der alkoholischen Lösung des Chlorophyllgelb ab.

Das Absorptionsspectrum des unveränderten Chlorophylls, welches man am besten an nicht zu dünnen aber auch nicht zu dicken, zur Entfernung der Luft unter der im Handbuch, S. 685 und Grundzüge, S. 367 beschriebenen oder einer gewöhnlichen Luftpumpe mit Wasser durchtränkten Blättern beobachtet, zeigt, in der Angström'schen Scala ausgedrückt und die Bruchtheile des Mikron in ganzen Zahlen geschrieben, folgende Banden (Fig. 26, 1):

I.[1]	II.	III.	IV.	V.	Von 450 an
720 bis 635	630 bis 610	600 bis 570	550 bis 530	510 bis 470	Endabsorption.

Ein aus jungen Blättern nach vorherigem Kochen mit Wasser durch Alkohol gewonnener Auszug, sogenanntes Rohchlorophyll, bei 5 bis 10 mm Schichthöhe ergab folgende Lage der Banden (Fig. 26, 2):

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	Von 420 an
λ = 680 b. 640	620 bis 600	580 bis 560	540 bis 530	490 bis 465	450 bis 430	Endabsorption.

[1]) Dieses Band erscheint häufig getheilt.

Digitized by Google

Dies ergiebt eine Verschiebung nach Blau hin, die wahrscheinlich auf Wirkung der verschiedenen Dispersion des Lösungsmittels beruht.

Chlorophyllgrün der oben gedachten Entmischung zeigt bei verdünnter Lösung und 10 mm Schichthöhe (Fig. 26, 3):

Fig. 26.

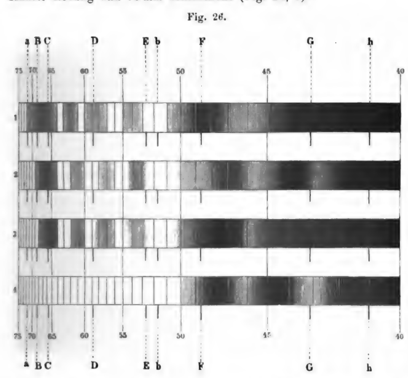


Fig. 26. Absorptionsspectren 1. des Blattes, 2. einer alkoholischen Chlorophylllösung, 3. des Reinchlorophylls, 4. des Xanthophylls (Xanthins).

I.	II.	III.	IV.	V.	Von 445 an
$\lambda = 670$ b. 640	620 bis 600	585 bis 560	545 bis 525	500 bis 455	Endabsorption.

Chlorophyllgelb (Xanthophyll G. Kr., Xanthin C. Kr.), mittlere Concentration bei 10 mm Schichthöhe (Fig. 25, 4):

I.	II.	Von 420 bis 425 an
$\lambda = 490$ bis 465	455 bis 435	Endabsorption.

Bei Schichthöhen von 200 bis 300 mm rückt die Endabsorption bis nach $\lambda = 590$ vor, ohne dass im Roth ein Band auftritt.

Nach **Hansen** soll etwa bei $\lambda = 426$ ein drittes Band auftreten, von dessen Vorhandensein ich mich aber nicht überzeugen konnte.

Digitized by Google

c. Buntkörper.

Verbreitung und Gestaltung. — Die Farbstoffe, soweit sie nicht, wie die rein blauen, violetten und rothen, als gelöste in dem Zellsafte auftreten, also die gelben, orangegelben, gelbrothen und braunen — soweit die letzteren nicht Mischfarben sind, die in verschiedenen über einander gelagerten Farbstoff führenden Zellenlagen oder in derselben Zellschicht vorkommen können, und wo die eine Farbe dem Zellsaft, die andere kleineren oder grösseren Körnern angehört — sind gleich dem Chlorophyll an körnige, protoplasmatische Bildungen gebunden, und es mögen diese bunt gefärbten Protoplasten als Buntkörper (Chromoplasten der Autoren, Chromoleuciten van Tieghem und Courchet) bezeichnet werden. Niemals sind bei den neueren Untersuchungen die von manchen älteren Botanikern angenommenen Farbebläschen gefunden, welche den Farbstoff als Inhalt führten.

Die Buntkörper, welche bei den niederen Gewächsen, den Gefässkryptogamen und Gymnospermen, nur vereinzelt, so in den Antheridien der Characeen, den Antheridienwandungen mancher Moose, dem fruchttragenden Stengel von *Equisetum arvense*, dem Samenmantel von *Taxus baccata*, vorkommen, besitzen bei den Angiospermen eine weite Verbreitung. Hier erscheinen sie vorzugsweise in den bunt gefärbten Theilen der Blüthen und Früchte, hier und da auch in anderen Organen, z. B. in der Wurzel der Möhre u. s. w., und hat man in Bezug auf die Vertheilung der Farbstoffe in den betreffenden Geweben, welche durch Quer- und Längsschnitte zu ermitteln ist, darauf zu achten, ob alle oder nur einzelne und, wenn letzteres der Fall ist, welche Zellschichten dieselben enthalten.

Die Gestalt der Buntkörper, welche man an zur Vermeidung von bei diesen Gebilden durch äussere Einflüsse leicht und rasch hervorgerufene Veränderungen möglichst schnell auszuführenden, ein bis mehrere Zellschichten enthaltenden Flächenschnitten oder an geeigneten unverletzten Blumenblättern, an Haaren (*Cucurbita* z. B.), sowie an nicht zu dünnen Schnitten durch die betreffenden Früchte, und zwar in den bei dem Chlorophyll genannten indifferenten Zusatzflüssigkeiten beobachtet, ist weit mannigfaltiger, als diejenige der Chlorophyllkörper. Runde und ovale Formen (Fig. 27, I) sind am häufigsten bei gelben, verhältnissmässig selten bei rothen und orangefarbenen Buntkörpern, so in der Fruchtschale von *Bryonia dioica* (roth- und orangefarben), im Fruchtfleische von *Solanum Dulcamara* (gelb), Haare aus der Blumenkrone von *Cucurbita* (hochgelb), in den Blüthen von *Adonis aestivalis*, *autumnalis* und *flammea* (hochroth), *Tritoma Uvaria* (junge Blüthen roth, ältere gelb). Langgestreckte, stäbchenförmige, häufig in zwei Spitzen ausgezogene Buntkörper (Fig. 27, II links u. V) trifft man selten bei ersteren,

Digitized by Google

häufiger bei letzteren in der braunen Blüthe von *Maxillaria triangularis* (gelb), *Tulipa Gesneriana* (gelb), *Chrysanthemum phaeniceum* (gelb), *Hemerocallis fulva* (orange), Fruchtschale von *Lonicera tatarica* und *Xylosteum* u. a. (roth). Buchtige, sowie mehrspitzige polygonale oder hier und da ganz unregelmässige Formen (Fig. 27, II rechts; III und IV) finden

Fig. 27.

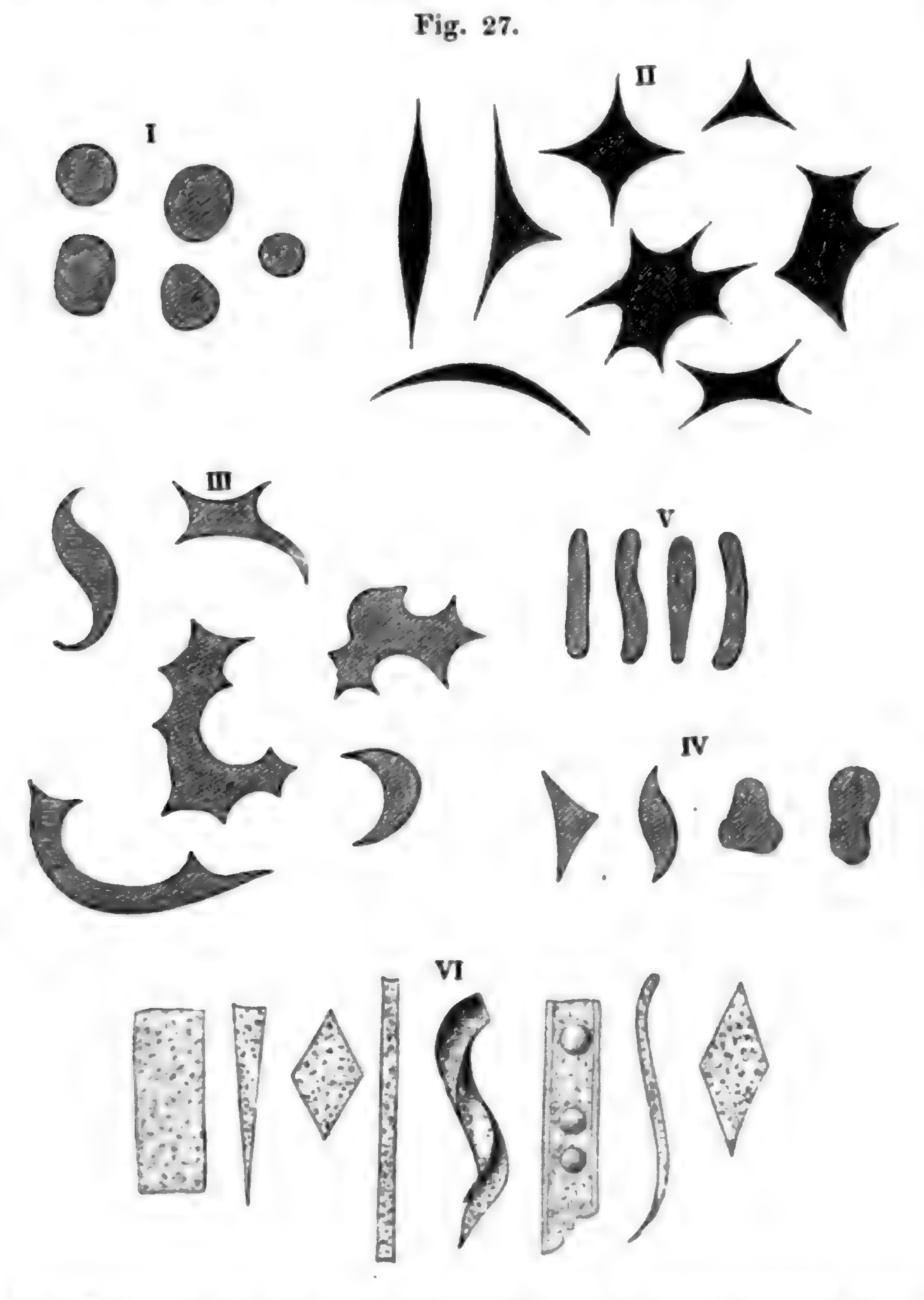


Fig. 27. Buntkörper. I aus der Frucht von Bryonia dioica, II aus der Frucht von Sorbus aucuparia, III aus dem Blumenblatt von Tropaeolum majus, IV aus dem Blumenblatt von Iris pseudacorus, V aus dem Blumenblatt von Tulipa Gesneriana, VI aus der Wurzel der Möhre. Vergr. 1 : 1000.

sich am häufigsten bei gelborangen, orangefarbenen und ziegelrothen, selten bei gelben Buntkörpern, z. B. in den Blüthen von *Aloë verrucosa* (roth), *Genista tinctoria* (gelb), *Amsinckia intermedia* (schmutzigroth), *Columnea Schiedeana* (gelb), *Senecio Ghisbrechtii* (gelb), *Tropaeolum majus* und *aduncum* (orangefarben), in den Früchten von *Rosa* (roth),

Digitized by Google

Sorbus aucuparia (orange). Regelmässig orangefarbene oder rothe rhombische oder rechteckige, bisweilen auch dreiseitige Tafeln sowie walzenförmige, gekrümmte oder spiralig gedrehte Körper (Fig. 27, VI, a. v. S.) führen die Wurzeln der Möhre, die Früchte der Tomaten (orangefarben und roth), ferner nach Courchet das Fruchtfleisch einer rothfrüchtigen Form von *Cucurbita Pepo*, der Samenmantel von *Passiflora coerulea* und *Hedychium Gaertnerianum*, die orangerothen Flecken der inneren Blüthenhülle von *Narcissus poeticus*.

Feinerer Bau. — Der feinere Bau der Buntkörper gestaltet sich insofern verschieden, als der Farbstoff in amorpher Gestalt, oder in Form von Krystallen in denselben enthalten ist.

In dem ersteren Falle, welche der häufigere ist, dürfte sich, wie ich aus einigen theils nach der Schwarz'schen Methode, die hier ebenfalls in Anwendung kommen kann, theils an nach Zimmermann in einer gesättigten Lösung von Pikrinsäure und Sublimat in absolutem Alkohol 24 Stunden lang gehärteten, mittelst fliessenden Wassers ausgewaschenen und dann in Säurefuchsin gefärbten Präparaten vorgenommenen vorläufigen Untersuchungen glaube schliessen zu können, für diese Protoplasten dieselbe Ausgestaltung ergeben, wie für die Chlorophyllkörper. Die an lebenden Objecten homogen erscheinende Grundsubstanz (das Stroma der Autoren) würde demnach aus einem netzförmigen Fadengerüste bestehen, während die Zwischenräume des letzteren (Grana) den Farbstoff enthalten. Sehr blass gefärbte Buntkörper erscheinen auch unter sehr starken Vergrösserungen vollkommen gleichartig, während in Zuckerlösung untersuchte Objecte, je nachdem die Grana kleiner

Fig. 28.

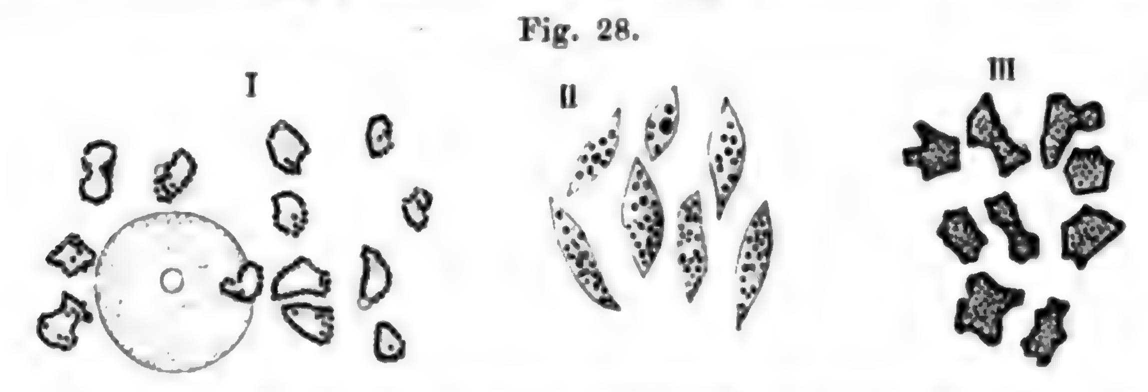


Fig. 28. Buntkörper mit Grana. I aus dem Blüthenschafte von Aloë verrucosa. II aus dem Parenchym des fruchtbaren Stengels von Equisetum arvense. III aus der Blüthe von Amsinckia intermedia. Vergr. 1 : 1500.

und dichter gedrängt, oder grösser und weiter von einander getrennt vorkommen, bald einen kaum erkennbaren körnigen Bau zeigen, bald die Grana als deutlich gefärbte Kügelchen innerhalb der farblosen Grundsubstanz erkennen lassen. Als besonders geeignete Objecte für diese Beobachtungen sind namentlich zu empfehlen die Epidermiszellen von *Equisetum arvense*, sowie die Blüthen von *Amsinckia intermedia* und *Aloë verrucosa*, deren Buntkörper die Grana theils in ihrem Inneren (Fig. 28, II), theils in einer äusseren Zone enthalten (Fig. 28, I und III).

Digitized by Google

An dem ersteren Objecte lassen sich, so viel ich bis jetzt beobachten konnte, durch 4proc. Kochsalzlösung auch die Gerüstbälkchen zur Darstellung bringen, doch bedarf es hier noch erneuter und ausgedehnterer Untersuchungen.

Wo der Farbstoff nur in Form von rothen oder orangen Farbstoffkrystallen, durch deren Gestalt diejenige der Buntkörper bestimmt wird, vorhanden ist, wie in der Wurzel der Möhre, den Früchten von *Lycopersicum esculentum* (Tomate), *Solanum Dulcamara*, *Lonicera xylosteum*, *Rosa*, *Pyrus*, im Samenmantel von *Evonymus*, in den Blüthen von *Tropaeolum*, da sind dieselben in geringerer oder grösserer Anzahl in der farblosen Grundsubstanz eingebettet (Fig. 29, III, S. 60), welche häufig auf einen ganz dünnen, oft nicht mehr sichtbaren Ueberzug zurückgeführt erscheint (Fig. 27, VI, S. 57).

Die Krystalle selbst sind meist zu klein, als dass sie eine krystallographische Bestimmung ermöglichen. Von den grösseren in der Möhre und der Tomate neben den häufig verschiedentlich verbogenen und gekrümmten, manchmal röhrenartig zusammenneigenden Formen, enthaltenen rhombischen und mehr oder minder in die Länge gezogenen, rechteckigen Tafeln (Fig. 27, VI) nimmt Schimper an, dass sie dem rhombischen Krystallsysteme angehören. Die übrigen Farbstoffkrystalle bilden feine, oft in mehr oder minder dicht gedrängte Haufen vereinigte Nadeln, oder ganz winzige, ihrer Form nach nicht genau erkennbare Gebilde. Ausgezeichnet sind dieselben sämmtlich — und hierauf beruht in vielen Fällen die einzige Möglichkeit, sie zu erkennen — durch Doppelbrechung und Pleochroismus[1]). Bringt man Farbstoffkrystalle unter 45° orientirt zwischen gekreuzte Nicols, so leuchten sie je nach ihrer Dicke mehr oder minder stark in dem dunklen Sehfelde auf und ändern bei Einschaltung eines Gypsplättchens das Roth in Violett bis Blau, beziehentlich in Gelb bis Orange. Beobachtet man mit einem Prisma — einerlei ob als Polarisator oder Analysator verwendet —, so erscheinen die Kryställchen bei einer gewissen Stellung, in welcher die Längsachse derselben mit der Schwingungsebene des Nicols einen rechten Winkel macht, farblos, während sie, nachdem man sie selbst oder das Prisma um 90° gedreht hat, so dass dessen Schwingungsachse mit der Längsachse der Kryställchen parallel dahin geht, orange oder rothe Farbe zeigen (Fig. VII).

---

[1]) Unter Pleochroismus versteht man die Eigenschaft doppeltbrechender Krystalle, verschiedene Farben zu zeigen, je nachdem die Schwingungsebene polarisirten Lichtes mit ihrer Achse parallel dahingeht oder dieselbe unter einem schiefen bis rechten Winkel schneidet. Derselbe beruht darauf, dass die einen solchen Krystall in verschiedenen Schwingungsrichtungen durchlaufenden Lichtstrahlen eine verschiedene Absorption erleiden. Für mikroskopische Zwecke lässt man entweder mittelst des Polarisators bereits polarisirtes Licht durch das Object, oder zerlegt die aus demselben ausgetretenen Lichtstrahlen mittelst des Analysators. Die Erscheinung bleibt dann bei beiden Beobachtungsweisen die gleiche.

Digitized by Google

Einschlüsse. — Von Einschlüssen der Buntkörper sind die von Schimper und A. Meyer zuerst beobachteten Proteïnkrystalloide die am weitesten verbreiteten. So z. B. in manchen Zellen der Blumenblätter von *Maxillaria triangularis*, *Hemerocallis fulva*, *Canna* (hier und da), *Bulbocodium vernum*, *Chrysanthemum phaeniceum*, der Früchte von

Fig. 29.

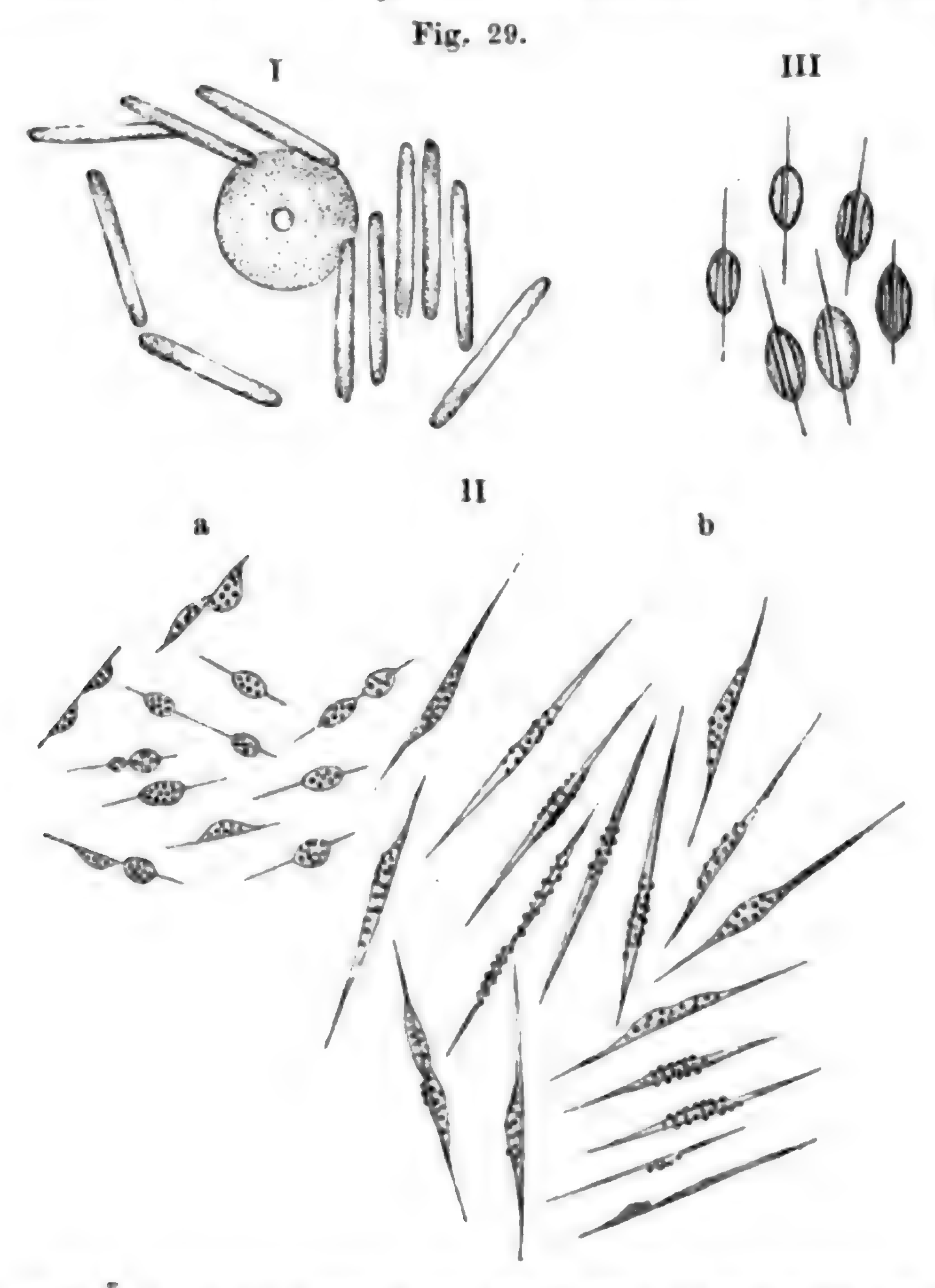


Fig. 29. I Buntkörper aus der Oberhaut des Perigonblattes von Maxillaria triangularis, bei welchen die farbstoffhaltige Grundsubstanz den farblosen Proteïnkrystall überzieht. II desgl. aus der Röhrenblüthe von Chrysanthemum phaeniceum mit farblosen Proteïnkrystallen und gelben Grana. III desgl. aus dem oberen Theil des Steugels von Neottia nidus-avis mit Farbstoff- und Proteïnkrystallen (nach Schimper). Vergr. 1 : 650.

Lonicera tatarica und *Xylosteum* u. s. w. Dieselben finden sich meist in der Einzahl in Form von tafelförmigen, würfel- oder flachoctaëderähnlichen, oder prismatischen, stäbchen-, spindel- oder nadelförmigen Kryställchen, welche entweder ganz in der Grundsubstanz eingebettet erscheinen, aus derselben mehr oder weniger hervorragen, oder mehr äusserlich an ihr befestigt sind (Fig. 29). Von den Farbstoffkrystallen lassen sich dieselben leicht dadurch unterscheiden, dass sie entweder

Digitized by Google

gar nicht oder sehr schwach doppeltbrechend sind und kaum auf das polarisirte Licht wirken.

Stärke findet sich selten, und zwar vorherrschend in den Buntkörpern der vegetativen Organe, wie in der Wurzel der Möhre (Fig. 30, I und Fig. 27, VI, S. 57). Eine noch geringere Verbreitung scheinen die „Oeltropfen“ zu besitzen, da dieselben bis jetzt nur von Schimper in den Buntkörpern der Blüthe von *Iris Pseudacorus* (Fig. 30, II) und *Oncidium janeirense* aufgefunden worden sind.

Fig. 30.

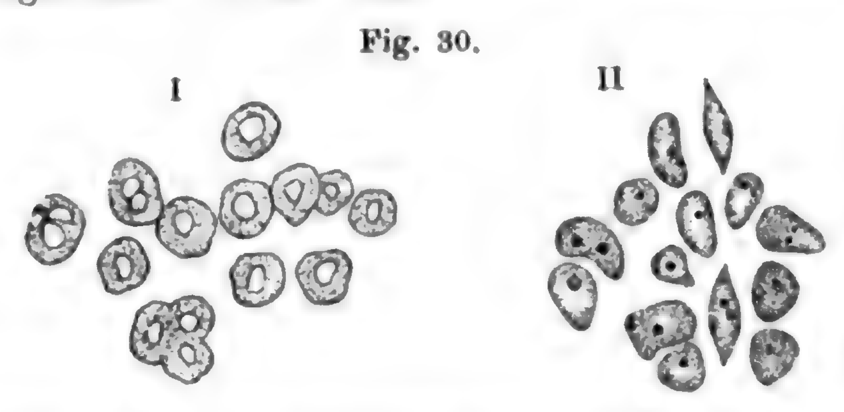


Fig. 30. I Buntkörper von Hypericum Androsaemum mit Stärkekörnern. Vergr. 1 : 800 (nach Courchet). II Buntkörper aus der Blüthe von Iris Pseudacorus mit zahlreichen kleinen und grösseren Oeltropfen. Vergr. 1 : 520 (nach Schimper).

Chemische Beschaffenheit. — Die Grundsubstanz (das Stroma) der Buntkörper, über deren Chemie wir noch eingehender, erneuter Untersuchungen bedürfen, scheint nach ihrem Verhalten gegen Härtungs- und Färbemittel u. s. w. die gleiche Beschaffenheit zu besitzen, wie diejenige der Chlorophyllkörper. Die Farbstoffkrystalle kennzeichnen sich durch Unlöslichkeit und Unquellbarkeit in Wasser, Löslichkeit — wenigstens in vielen Fällen — in Alkohol, negatives Verhalten gegen Färbeflüssigkeit und unterscheiden sich dadurch von den Krystalloideinschlüssen, welche in Wasser leicht und stark quellen, durch Alkohol gehärtet und durch die Färbeflüssigkeiten mehr oder minder stark gefärbt werden.

Ueber die chemische Natur der Farbstoffe sind wir noch weniger unterrichtet, wie bei dem Chlorophyll. Aus den von Blumenblättern und Flächenschnitten rother Früchte erzeugten Absorptionsspectren scheint für die uns hier zunächst interessirenden Farben indessen so viel hervorzugehen, dass dieselben je aus einer, den verwandten Farbstoffgruppen eigenen Grundlage bestehen, welche für das im Wesentlichen mit dem gelben Bestandtheil des Chlorophylls übereinstimmenden Gelb wie für Roth (Carotin?) in deren verschiedenen Abtönungen nicht wesentlich verschieden ist. Mit den Absorptionsspectren des Blumenblattes von *Forsythia Fortunei* (Fig. 31, 1, a. f. S.), welches folgende Banden zeigt:

I.	II.	
λ = 510 bis 490	458 bis 446	von 435 ab Endabsorption,

stimmen diejenigen aller anderen gelben Blumenblätter ziemlich überein, und es gehen bei höheren Färbungen und dickeren Blättern die sich

Digitized by Google

mehr und mehr verbreiternden Banden in Endabsorption, von etwa 515 an, über. Aehnliche Uebereinstimmung mit dem Absorptionsspectrum des Blumenblattes von *Adonis aestivalis* (Fig. 31, 2), welches ein breites Band zwischen $\lambda = 580$ bis 485 zeigt, lässt sich bei allen rothen Blüthen mit nur rothen Buntkörpern beobachten.

Fig. 31.

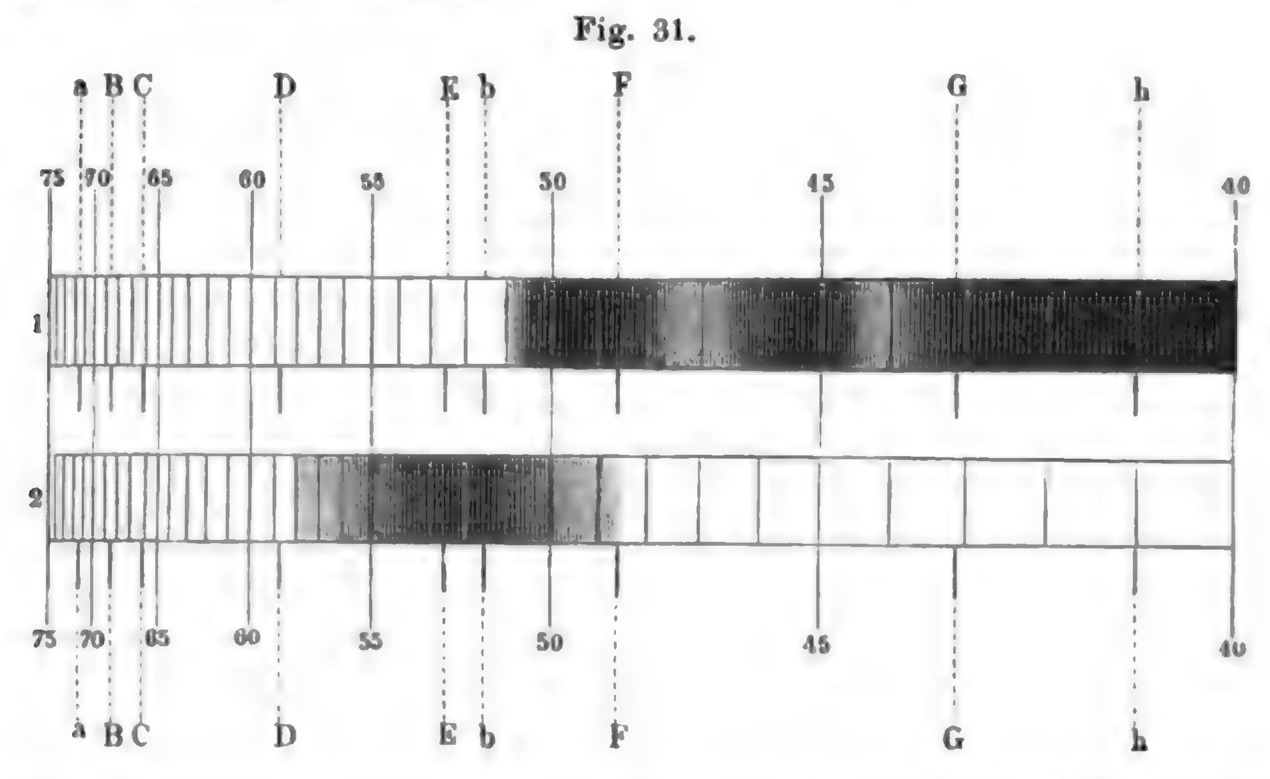


Fig. 31. Absorptionsspectrum des Blumenblattes I von Forsythia Fortunei, II von Adonis aestivalis.

Zu den Protoplasten sind, soweit die heutige Kenntniss derselben reicht, auch die neuerdings aufgefundenen Elaioplasten (Oelbildner), Wakker, und Centralkörper (Attractionssphären, Richtungskörper), Flemming u. A., zu rechnen.

Die Oelbildner wurden von Wakker in der Oberhaut der Blätter von *Vanilla planifolia* entdeckt und dann von Zimmermann in verschiedenen Monokotyledonen, u. a. in *Funkia coerulea* und *Sieboldiana*, *Ornithogalum scillioides* (Blüthenhülle und Fruchtknotenwand), *Agave americana* (Blatt und Wurzelrinde), aufgefunden. Dieselben sind meist in der Ein-, seltener in der Mehrzahl (Ornithogalum) vorhanden und liegen bald dem Kerne angelehnt, bald etwas entfernt von demselben. Zur Beobachtung in der lebenden Zelle umhüllt man sie mit einer indifferenten Zusatzflüssigkeit, und es erscheinen dieselben dann als stark lichtbrechende, etwas gelbliche, feinkörnige, ganz oder nahezu kugelförmige, öfter auch mehr oder weniger gelappte oder traubenförmige, wie die sogen. anomale Plasmolyse mittelst eosinhaltiger, 10proc. Salpeterlösung sicher darthut, dem Protoplasma (Fig. 32) eingebettete Körper, an denen sich eine eiweisshaltige Grundsubstanz und fette oder ölartige Einschlüsse nachweisen lassen. Erwärmt man nämlich in 5proc. Zuckerlösung liegende Schnitte, so tritt das Oel in Form von an den Elaioplasten haften bleibenden Tropfen aus. Jodjodkalium bewirkt das gleiche Verhalten, während die Grundsubstanz gelb gefärbt wird. Salpetersäure,

Digitized by Google

und diese in Verbindung mit Ammoniak angewandt, färben die Grundsubstanz gelb, das **Millon**'sche Salz roth, während 1 proc. Osmiumsäure den ganzen Körper bräunt. Deutlich kennzeichnende Färbungen und Doppelfärbungen erhält man an mit gesättigter Pikrinsäurelösung, welche gleichfalls das Oel in Tropfenform austreten macht, während sie die Grundsubstanz härtet, behandelten Schnitten. Lässt man diese kurze Zeit in einer stark mit Wasser verdünnten alkoholischen Cyaninlösung verweilen, so werden die ausgetretenen Oeltropfen lebhaft blau, die zurückgebliebene Grundsubstanz hellblau gefärbt. In 1 proc. Osmiumsäure erscheinen erstere schwarz. Mit Wasser verdünnte Alkannatinctur ertheilt den Oeltropfen intensiv rothe Färbung, während alle anderen Zellkörperbestandtheile ungefärbt bleiben. Eine Mischung von Anilinblau mit Alkannatinctur, welche nach **Wakker** hergestellt wird, indem man zu

Fig. 32.

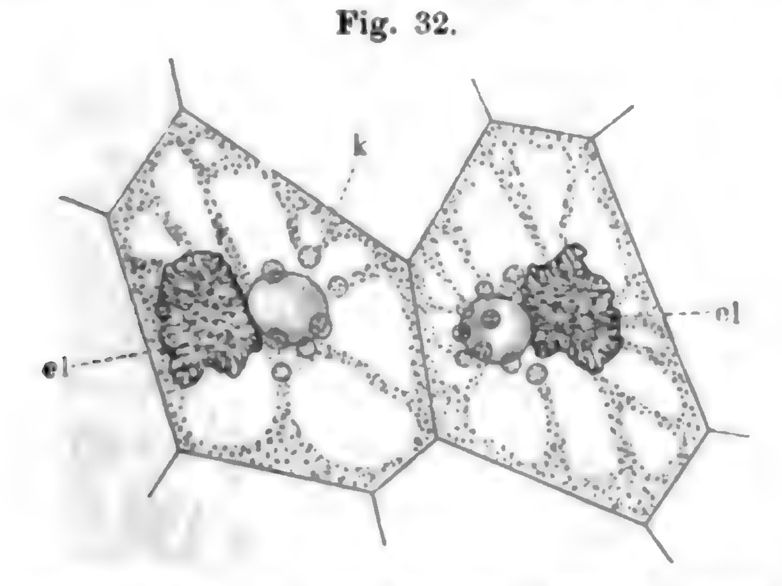


Fig 32. Zwei Oberhautzellen eines sehr jungen Blattes von Vanilla planifolia in 4 proc. Zuckerlösung. Der Elaioplast *el* liegt an dem Zellkern (nach **Wakker**). Vergr. 1 : 580.

einer dunkelblauen, wässerigen Lösung von Anilinblau so lange tropfenweise Alkannatinctur zusetzt, bis die Flüssigkeit eine dunkel purpurrothe Hämatoxylinfärbung angenommen hat, bewirkt nach etwa 20stündiger Einwirkung eine schöne Doppelfärbung. In Glycerin beobachtet, erscheint das Protoplasma hellblau, Kern und die Weisskörper dunkelblau, die Grundsubstanz des Oelbildners dunkel purpurfarben, das Oel lebhaft roth. **Raciborski** empfiehlt neuestens zur Färbung eine verdünnte Alkannalösung in 1 proc. Essig- oder Ameisensäure. Die Elaioplasten färben sich hierin in 1 bis 5 Minuten prächtig roth, während die verdünnte Säure die plasmatische Grundsubstanz der letzteren und die anderen plasmatischen Inhaltskörper der Zelle härtet. Die so behandelten Schnitte können dann noch mit einer Lösung von Jodgrün in Glycerin nachgefärbt werden. Diese, wie die durch die anderen Färbungen erzielten Präparate lassen sich in Glyceringelatine aufbewahren. Sollen dieselben jedoch in Canadabalsam aufbewahrt werden, so wird nach dem Genannten mittelst Osmiumsäure gehärtet. Die Elaioplasten färben sich dann braun, werden aber nach Auswaschen mit Wasser und gelindem Erwärmen

Digitized by Google

dunkler, während die ölartige Substanz nun nicht mehr durch Alkohol, ätherische Oele oder Xylol gelöst wird.

Inwieweit die von Pfeffer entdeckten, später auch von Wakker untersuchten „Oelkörper“ der Lebermoose, an denen sich mittelst verdünnten Alkohols und gesättigter wässeriger Pikrinsäurelösung, deren Einwirkung unter dem Mikroskop beobachtet werden muss, ein dieselben umhüllendes Protoplasmahäutchen nachweisen lässt, zu den Oelbildnern, deren Natur überhaupt noch nicht sicher festgestellt erscheint (vergl. Zimmermann), zu rechnen sind, muss weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben. Andere ähnliche, bläschenartige Gebilde, welche von Vöchting in den Haaren junger Blätter von Myriophyllum und neuerdings von Raciborski auch in den Haaren anderer Pflanzen beobachtet wurden, führen nach den vorläufigen Mittheilungen über diese Inhaltskörper (Ber. d. bot. Gesellsch. XI, S. 248) einen dem Phloroglucin ähnlichen Inhalt.

Fig. 33.

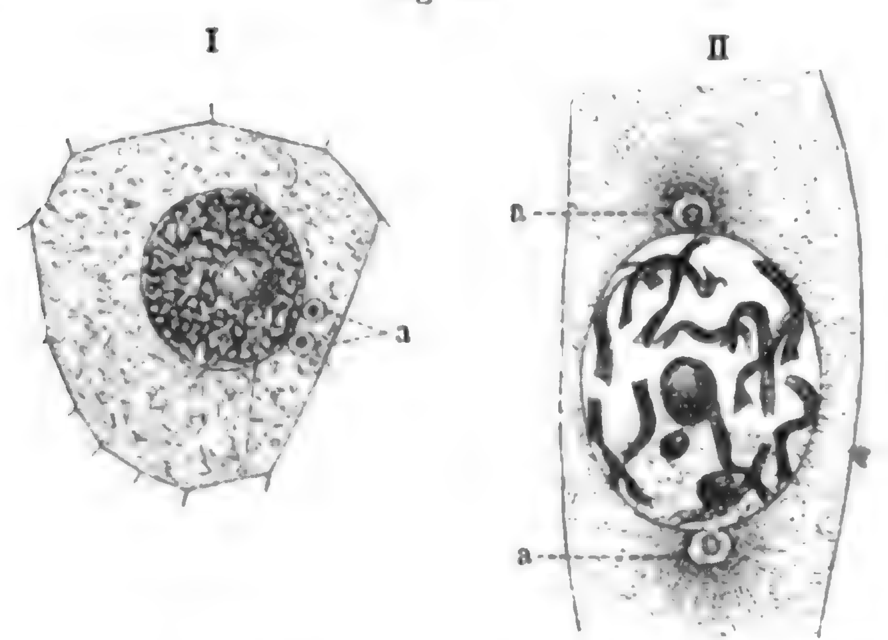


Fig. 33. I Embryosack von Lilium Martagon vor der ersten Kerntheilung. II Spitze des Embryosackes. *a* Centralkörper (nach Guignard).

Die Centralkörper (Attractionssphären, Richtungskörper) wurden für die Pflanzenzellen von Guignard (Ann. d. sc. natur. Bot., Ser. VII, Bd. XIV, S. 163) entdeckt und dürften in diesen wohl eine zu ausgedehnteren Untersuchungen anregende weitere Verbreitung besitzen. Dieselben finden sich, und zwar zu zweien, bei ruhenden Kernen seitlich derselben, wandern bei sich zur Theilung anschickenden an die beiden Pole und bilden kugelige Körperchen, welche aus einer äusseren Hülle und einem inneren, ebenfalls kugeligen Kerne, Centrosom (Fig. 33), bestehen. Zur Sichtbarmachung empfiehlt der Entdecker folgendes Verfahren. Zunächst werden die betreffenden Objecte (Samenknospen von Liliumarten etc., junge Staubfädenhaare von Tradescantia virginica) in Alkohol, 20- bis 30proc. alkoholischer Sublimat- oder Pikrinsäurelösung, 1proc. wässeriger Sublimatlösung, gesättigter Pikrinsäurelösung oder

Digitized by Google

0,5proc. Chromsäurelösung gehärtet. Die Färbung, welcher bei Härtung mittelst Alkohols eine Behandlung mit 10proc. Zinksulfat oder Ammoniakalaun vorhergehen muss, wird mittelst Hämatoxylin oder sich folgend mit einer verdünnten, wässerigen Lösung von Orseillin und Eosin-Hämatoxylin bewirkt. Der Kern erscheint dann lebhaft roth gefärbt, während die äussere Hülle ungefärbt bleibt. Wo die Centralkörper schwieriger nachzuweisen sind, führt meist eine Behandlung mit Osmiumsäuredampf zum Ziele. Man legt zu dem Ende zunächst den das Präparat in einem Wassertropfen enthaltenden Objectträger auf die Oeffnung eines 1proc. Osmiumsäure enthaltenden weithalsigen Fläschchens (die Oeffnung muss dabei natürlich von dem Objectträger vollständig abgeschlossen werden) und lässt die Dämpfe kurze Zeit, höchstens $^1/_2$ bis 1 Stunde, einwirken. Hierauf bringt man den Schnitt $^1/_2$ bis 1 Stunde lang in die Flemming'sche Chromosmiumessigsäure, schliesslich in Alkohol und färbt dann mit Fuchsin-Jodgrün. Die Kerne (Centrosome) erscheinen kräftig roth gefärbt.

H. v. Mohl: Untersuchungen über die anatomischen Verhältnisse des Chlorophylls. Dissertation vom Jahre 1837. Vermischte Schriften. 1846. — Ueber den Bau des Chlorophylls. Bot. Zeitung. 1855.

Th. Hartig: Das Leben der Pflanzenzelle. 1844. — Entwickelungsgeschichte des Pflanzenkeimes. 1858.

Nägeli: Bläschenförmige Gebilde im Inneren der Pflanzenzelle. Schleiden und Nägeli: Zeitschrift u. s. w. Heft 3 und 4. 1846. — Systematische Uebersicht der Erscheinungen im Pflanzenreiche. 1853, und Pflanzenphysiologische Untersuchungen von Nägeli und Cramer. Heft 2.

Göppert und Cohn: Ueber die Rotation u. s. w. Bot. Zeitung. 1849.

Mulder: Versuch einer allgemeinen physiologischen Chemie.

v. Böhm: Beiträge zur näheren Kenntniss des Chlorophylls. Sitzungsberichte der Kaiserl. Akademie der Wissenschaften. 1857.

A. Gris: Recherches microscopiques sur la Chlorophylle. Ann. des sciences nat. 1857.

Maschke: Ueber einige Metamorphosen in der reifenden Frucht von Solanum nigrum II. Bot. Zeitung. 1859.

J. Sachs: Uebersicht der Ergebnisse der neueren Untersuchungen über das Chlorophyll. In Flora von 1862 und 1863.

Hildebrandt: Anatomische Untersuchungen über die Farben der Blüthen. Pringsheim's Jahrbücher. Bd. III, Heft 1. 1861.

Wigand: Einige Sätze über die physiologische Bedeutung des Gerbstoffes und der Pflanzenfarben. Botanische Zeitung. 1862, Nr. 16.

A. Weiss: Untersuchungen über die Entwickelungsgeschichte des Farbstoffes in Pflanzenzellen. Sitzungsberichte der Kaiserl. Akademie. Separatabdruck. Wien 1864.

Kraus, G.: Ueber die Bestandtheile der Chlorophyllfarbstoffe und ihrer Verwandten. Sitzungsber. d. med. phys. Gesellsch. in Halle 1871. Die Entstehung der Farbstoffkörper in den Beeren von Solanum Pseudocapsicum. Pringsheim's Jahrbücher. Bd. VIII, 1871. Zur Kenntniss der Chlorophyllfarbstoffe und ihrer Verwandten. Stuttgart 1872.

Briosi: Die Bildung von fettartiger Substanz im Chlorophyll. Bot. Ztg. 1873.

Pfeffer: Die Oelkörper der Lebermoose. Flora 1874.

Pringsheim: Untersuchungen über das Chlorophyll I, über die Absorptionsspectren der Chlorophyllfarbstoffe in: Monatsber. d. Berl. Akad. d. Wiss.

Digitized by Google

1874. Ueber schädliche Chlorophyllmodificationen und die Farbstoffe der Florideen. Ebend. 1875. Ueber Lichtwirkung und Chlorophyllfunction. Jahrbücher. Bd. XII, 1881.

Kraus, C.: Ueber die Natur des Chlorophyllfarbstoffes. Flora 1875, Nr. 10.

Reinke: Beitrag zur Kenntniss des Phycoxanthins, in Pringsheim's Jahrbüchern. Bd. X, 1876.

Dippel: Einige Bemerkungen über die Gemengtheile des Chlorophylls etc. Flora 1878.

Stöhr: Ueber das Vorkommen des Chlorophylls in der Epidermis der Phanerogamenlaubblätter. Sitzber. d. k. Akad. Wiss. zu Wien. Bd. LXXIX, Abth. I, 1879.

Dehnecke: Ueber nicht assimilirende Chlorophyllkörper. Bonn 1880.

Fritsch: Farbige körnige Stoffe des Zelleninhaltes in Pringsheim's Jahrbüchern, Bd. XIV, 1883.

Schmitz: Die Chromatophoren der Algen. Bonn 1882. Beitrag zur Kenntniss der Chromatophoren, in Pringsheim's Jahrbüchern, Bd. XV, 1884.

Meyer, A.: Das Chlorophyllkorn. Leipzig 1883. Ueber das Krystalloid der Trophoplasten und über die Chromoplasten der Angiospermen. Botanische Zeitung 1883.

Schimper: Ueber die Entwickelung der Chlorophyllkörper und Farbkörper und Erwiderung. Bot. Ztg. 1883. Untersuchungen über die Chlorophyllkörper und die ihnen homologen Gebilde, in Pringsheim's Jahrbüchern, Bd. XVI, 1885.

Arnaud: Recherches sur les matières Colorantes des feuilles etc. Comptes rendus. Bd. C, S. 751, 1885.

Berthold: a. a. O.

Schwartz: a. a. O.

Hansen: Der Chlorophyllfarbstoff und: Das Chlorophyllgrün der Fucaceen, in Arb. d. bot. Inst. zu Würzburg. Bd. III, Heft 1, 1884 und Heft 2, 1885. Die Farbstoffe der Blüthen und Früchte. Sitzungsber. d. phys. med. Ges. zu Würzburg 1884. Weitere Untersuchungen über den grünen und gelben Chlorophyllfarbstoff. Ebend. 1886 (auch in Arb. d. bot. Inst. 1887, Bd. III, Heft 3.). Farbstoffe des Chlorophylls. 1888.

Tschirch: Untersuchungen über das Chlorophyll. Berlin 1884. Morphologie der Chlorophyllkörner. Sitzungsber. d. Ges. naturf. Freunde zu Berlin 1884. Untersuchungen über das Chlorophyll. Ber. d. bot. Ges., Bd. III, 1885 und Bd. V, 1887.

Wegscheider: Spectroskopische Notizen über die Farbstoffe grüner Blätter und deren Derivate. Ebend. Bd. II, 1884.

Müller: Spectralanalyse der Blüthenfarben. Pringsh. Jahrb., Bd. XX, 1888.

Courchet: Recherches sur les chromoleucites. Ann. d. sc. natur. Ser. 7, Bd. VII, 1888.

Wakker: Studien über die Inhaltskörper der Pflanzenzelle. Pringsh. Jahrb. Bd. XIX, 1888.

Bredow: Beiträge zur Kenntniss der Chromatophoren. Pringsh. Jahrb. Bd. XXII, 1890.

Immendorff: Das Carotin im Pflanzenkörper und Einiges über den grünen Farbstoff des Chlorophyllkorns. Landwirthschaftl. Jahrb. 1889, S. 507.

Zimmermann: Die Elaioplasten. Dessen Beiträge zur Morphologie und Physiologie der Pflanzenzelle. Bd. I, Heft 3, 1893.

Raciborski: Ueber die Entwickelungsgeschichte der Elaioplasten bei Liliaceen. Anz. d. Akad. der Wissensch. in Krakau, Juli 1893, S. 259.

Digitized by Google

5. Geformte Reservestoffe.

Als geformte Reservestoffe sind diejenigen Einschlüsse des Zellkörpers zu betrachten, welche innerhalb desselben entweder unmittelbar von dem Protoplasma aus, oder durch die Protoplasten jederzeit neu gebildet und wieder gelöst werden können und als Baustoffe verschiedener Art bei anderweitigen Neubildungen Verwendung finden, ohne sich wie die Protoplasten an der Lebensthätigkeit der Zelle selbstthätig zu betheiligen. Dahin gehören einerseits die Proteïnkörper: Proteïn- oder Aleuronkörner und Proteïnkrystalle oder Krystalloide, andererseits die Stärkekörner.

a) Proteïnkörper.

Proteïn- oder Aleuronkörner.

Vorkommen und Gestaltung. — Die Proteïnkörner (Aleuronkörner, Klebermehl, Satzmehl), wurden von Hartig (Bot. Zeitung 1855, S. 881) entdeckt und dargestellt. Dieselben finden sich in allen Samen der Phanerogamen, und zwar sowohl in den stärkemehlfreien, ölhaltigen von gewissen Palmen, Cupuliferen, Ranunculaceen, Leguminosen, Compositen u. s. w. (Fig. 34, II bis VII, a. f. S.), sowie neben Stärkemehl in denen der Nadelhölzer, der meisten Leguminosen, Gramineen etc. (Fig. 34, I). Man erhält die Proteïnkörner in grösseren Mengen, wenn man zarte Scheibchen aus den betreffenden Samen mit einem fetten Oele so lange auswäscht, als dieses noch getrübt erscheint, das durch ein feines Tuch gelaufene Oel sich absetzen lässt, und den weissen Bodensatz nach Wegnahme des überstehenden Oeles auf einem Filter durch Auswaschen mittelst wasserfreien Alkohols (Aether wirkt verändernd) von dem letzteren völlig befreit. Zur Beobachtung der Gesammtverhältnisse verwendet man, der Uebersicht über alle dieselben halber, am zweckmässigsten Schnitte durch die betreffenden Samen. Handelt es sich nur um eine allgemeine Uebersicht, so können diese in fettem Oele (am besten Süssmandelöl), in dem von den Einschlüssen nur die Globoïde und Krystalle vermöge ihres abweichenden Lichtbrechungsvermögens hervortreten, oder in Jodglycerin, welches den Proteïnkörnern, während die Stärkekörner blau gefärbt werden, eine gelbe Farbe ertheilt, beobachtet werden. Eine umfassende Einsicht in alle Verhältnisse erlangt man jedoch nur an Schnitten, welche durch etwa 24stündiges Einlegen in absoluten Alkohol (die früher empfohlene 2proc. Sublimatlösung wirkt chemisch verändernd und ändert das Verhalten gegen Reagentien) gehärtet wurden. Der Alkohol wirkt hierbei zugleich lösend auf das begleitende Oel und es erlangen die Proteïnkörner nebst ihren Einschlüssen nach längerem Verweilen in dem als Einhüllungsflüssigkeit zu verwendenden Wasser ihre Reactionsfähigkeit wieder. Beobachtung

Digitized by Google

frischer Schnitte unter Wasser ist, sofern es sich nicht um die Feststellung der Löslichkeitsverhältnisse handelt, gänzlich auszuschliessen.

Fig. 34.

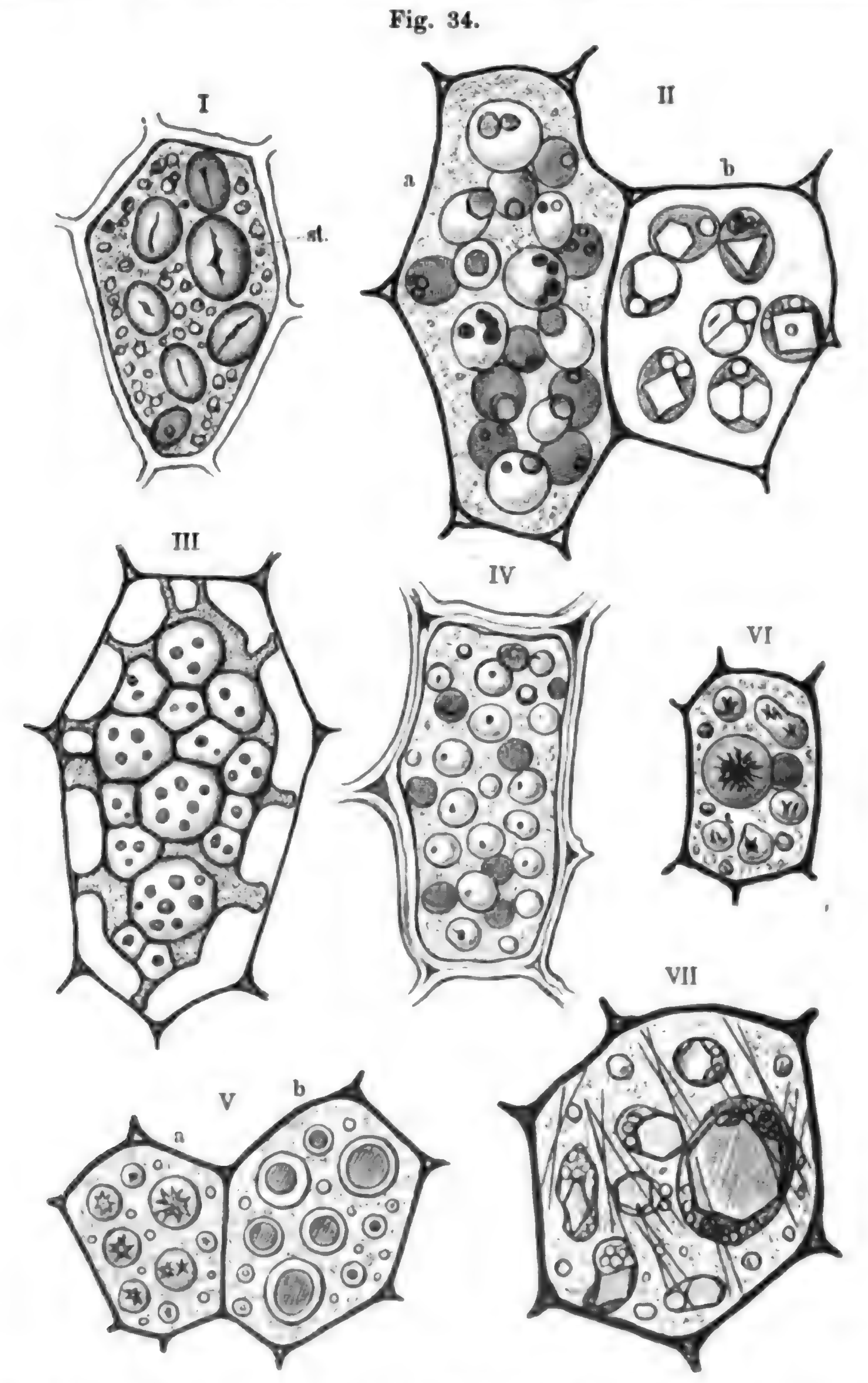


Fig. 34. Einzelne Zellen aus dem Samen I von Vigna glabra mit Stärkekörnern und Proteïnkörnern. II von Ricinus communis, a unter Oel, b nach Behandlung mit sublimathaltigem Alkohol in Wasser beobachtet. III von Lupinus pilosus. IV von Paeonia officinalis. V von Coriandrum sativum, a mit Krystallen, b mit Globoiden. VI von Sylibum marianum. VII von Bertholletia excelsa, nebenbei nadelförmige Fettkrystalle enthaltend. Vergr. 1 : 500.

Digitized by Google

Die Proteïnkörner bilden in der Regel kugelige, linsenförmige, oder ovale, seltener längliche, eckige oder stabförmige (*Cynara*), und wo sie dichter gedrängt erscheinen, polyëdrische, glänzende, den Stärkekörnern ähnliche, von diesen sich aber sofort durch das gleich zu erwähnende optische Verhalten unterscheidende Körperchen (Fig. 34 u. 35). Die Grösse derselben ist bei verschiedenen Pflanzen in dem Samen derselben Pflanze, ja sogar in derselben Zelle eine verschiedene und schwankt von weniger als 1 μ bis zu 20, bisweilen bis über 50 μ im Durchmesser. Im Allgemeinen besitzen die stärkeführenden Samen kleinere (Fig. 34, I), die ölhaltigen grössere Proteïnkörner. Ein gleiches Verhältniss macht sich häufig zwischen den äusseren und inneren Zellschichten des Sameneiweisses und bei eiweisslosen Samen zwischen Stengel- und Wurzelanlage und den Keimblättern geltend. Wo man in ein und derselben Zelle einen erheblichen Grössenunterschied beobachtet, wie bei *Vitis*, *Bertholletia*, einzelnen Lupinusarten, *Silybum*, *Cynara* u. s. w., da ist es in der Regel ein Proteïnkorn (Fig. 34, VI und VII), welches sich durch besonders hervorragende Grösse — bis 50 μ im Durchmesser — auszeichnet und von Hartig als Solitair bezeichnet wurde.

Fig. 35.

Fig. 35. Einzelne Proteïnkörner aus dem Samen von Cynara scolymus. Vergr. 1 : 500.

Die bald das ganze Korn erfüllende, bald — bei Einschlüssen — in mehr oder minder grosser, oft fast verschwindender Menge vorhandene Grundsubstanz besitzt ungefähr das gleiche Lichtbrechungsvermögen wie die Stärkekörner, ist aber einfach brechend, so dass die Proteïnkörner im dunklen Sehfelde des Polarisationsmikroskopes in allen Lagen unsichtbar bleiben und die Farbe des Gypsgrundes nicht ändern. Dieselbe ist im Allgemeinen farblos; nur in vereinzelten Fällen erscheint sie gelb (*Rhamnus Frangula*, *Ailanthus*, Tonkabohne), braun (*Arachis*, *Theobroma*, Tonkabohne), blau (*Knautia*, *Mathiola incana*, *Panax*, äussere Zellschichten), grün (*Pistacia*, *Knautia*), oder rosenroth (*Hibiscus*, *Laurus nobilis*) gefärbt. Auch erscheint dieselbe hier und da, so bei *Paeonia*, wo sie in den inneren Zellschichten eine grössere Mächtigkeit erreicht, geschichtet und es lässt sich dieses Formverhältniss nach Pfeffer leicht zur Anschauung bringen, wenn man Schnitte etwa sechs Stunden lang mit schwefelsäurehaltigem Alkohol behandelt und dann unter Wasser beobachtet. Nach aussen und gegen die noch zu betrachtenden Einschlüsse erscheint die Grundsubstanz durch ein in den die letztere mehr oder weniger schnell lösenden verdünnten Alkalien, namentlich Kalkwasser, anfangs als unlösliches Häutchen abgegrenzt, welches sich zur Anschauung bringen lässt, wenn man erstere durch die genannten Mittel oder, wo diese zu rasch lösend wirken, durch Wasser allmälig in Lösung

Digitized by Google

überführt. Dasselbe bleibt dann in dem bei Fettgehalt mittelst Alkannatinctur sich fleisch- bis rosenroth färbenden Protoplasmanetz (Fig. 36) oder bei den vereinzelten Körnern als durchscheinendes, prall ausgespanntes Säckchen zurück (Fig. 36, I), während das unverletzte — namentlich trockene — Korn durch das feste Anliegen der Haut an Grundsubstanz und Einschlüssen nach aussen feingrubig erscheint.

Einschlüsse. — In der Grundmasse der Proteïnkörner finden sich dreierlei Einschlüsse: Krystalloide, Globoide und echte Krystalle, welche entweder für sich oder neben einander vorkommen und die Masse der ersteren oft nur auf eine dünne äussere Hüllschicht be-

Fig. 36.

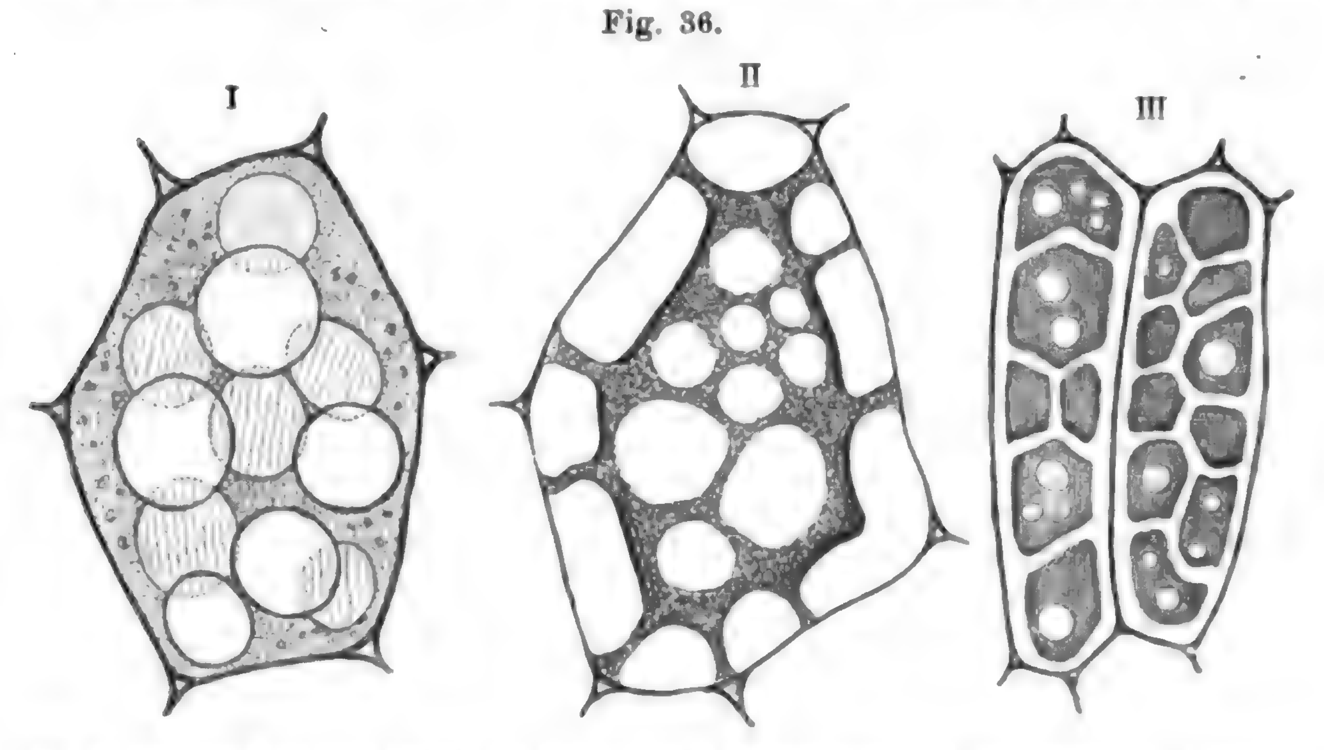


Fig. 36. Netzwerk der nach Lösung der Proteïnkörner zurückgebliebenen Grundsubstanz. I Ricinus communis. II Lupinus pilosus. III Cynara scolymus mit den Globoiden. Vergr. 1:500.

schränken können. Lehrreiche Uebersichts-Dauerpräparate der gesammten Einschlüsse erhält man nach dem von Krasser angegebenen Härtungs- und Färbeverfahren. Die Schnitte werden in alkoholischer Pikrinsäurelösung gehärtet, mittelst absoluten Alkohols ausgewaschen, wenige Minuten in eine alkoholische Eosinlösung gebracht, nach Auswaschen in absolutem Alkohol in Nelkenöl aufgehellt und in Canadabalsam übertragen. An gelungenen Objecten erscheinen dann die Grundsubstanz dunkelroth, die Krystalloide gelb (bisweilen auch orange) und scharf begrenzt, die Globoide fast farblos. Aehnliche Färbungen erzeugt mehrstündiges Einlegen der Schnitte in eine gesättigte Lösung von Eosin in der alkoholischen Pikrinsäurelösung.

Die Krystalloide, denen wir noch eine besondere Betrachtung widmen werden, sind, wenn auch nicht in allen Proteïnkörnern, so doch in denen einer reichlichen Zahl von Pflanzen, z. B. aus der Familie der Cucurbitaceen, Euphorbiaceen, Coniferen u. s. w. vorhanden und kommen in demselben Proteïnkorn in der Regel in der Einzahl, hier und da jedoch

Digitized by Google

auch zu 2 bis 3 (*Ricinus*), oder in der Mehrzahl (*Elaeis guineensis*) und zwar meist von Globoiden begleitet vor (Fig. 34, II u. VII, S. 68; 37, III). Man beobachtet dieselben entweder an, am besten durch 24 Stunden langes Verweilen in absolutem Alkohol gehärteten, im ersteren Falle mit Alkohol ausgewaschenen, von Wasser oder der hierfür nach Lüdtke

Fig. 37.

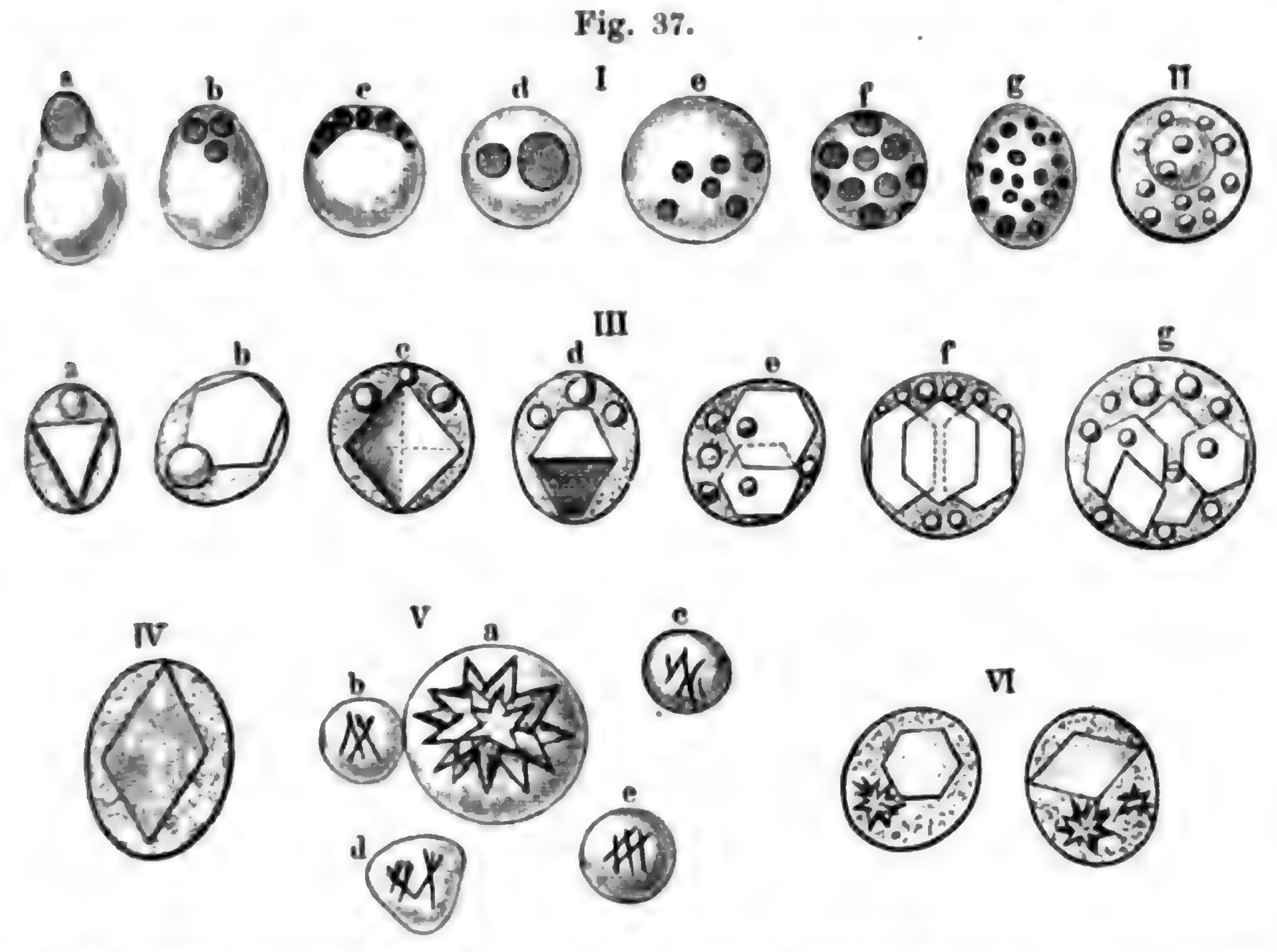


Fig. 37. Einzelne Proteïnkörner. I, *a* bis *g* von Ricinus communis in Oel, nur die Globoide sichtbar. II von Lupinus pilosus nach Einwirkung von Wasser mit einem grossen und zahlreichen kleinen Globoiden. III, *a* bis *g* von Ricinus nach Behandlung mit sublimathaltigem Alkohol in Wasser liegend, die Globoide und Krystalloide sichtbar. IV von Lupinus mutabilis Solitair mit einem Krystall von Kalkoxalat. V, *a* bis *e* von Sylibum marianum mit Krystalldrusen, *a* Solitair. VI von Aethusa Cynapium mit Krystalloiden und Krystallen von Kalkoxalat. Vergr. I bis IV 1 : 750, V und VI 1 : 1000.

besonders zu empfehlenden gesättigten wässerigen Lösung von Natriumphosphat, welches das Häutchen, die Grundsubstanz und die anderen Einschlüsse löst, umhüllten Schnitten, welche — wenn ausreichend dünn — sehr scharfe Bilder gewähren, oder auch an frischen, in Wasser eingedeckten isolirten Körnern, in denen die Grundsubstanz zum Quellen oder zur Lösung gebracht ist und so — besonders wenn man etwas absoluten Alkohol zufliessen lässt — die Krystalloide schärfer begrenzt hervortreten lässt. Unter Oel und Glycerin treten sie weniger oder nicht hervor, da ihr Brechungsvermögen dem der Grundsubstanz gleich kommt. Die auf eben geschilderte Weise isolirten Krystalloide können durch Eosin (gelb) oder Säurefuchsin (tief roth) gefärbt werden.

Die Globoide, welche in Ein- und Mehrzahl auftreten können (Fig. 34, II bis IV, Vb u. VII; 37, I, II u. III), besitzen eine sehr weite Verbreitung und fehlen, wenn sie auch nicht in allen Proteïnkörnern

Digitized by Google

vorkommen, doch keinem Samen. Sie sind meist mit Krystalloiden vergesellschaftet, nur bei *Aethusa Cynapium* finden sich noch ausserdem Krystalle. Die Gestalt ist meist eine kugelförmige (Fig. 34, II bis IV, V b und VII; 35, 36, III; 38, I), doch trifft man auch nicht selten andere, namentlich bisquit- und traubenförmige Formen, so bei *Bertholletia*, *Vitis vinifera* u. s. w. (Fig. 38, II). In ihrer Grösse schwanken diese Gebilde, und zwar nicht selten in den äusseren und inneren Zellschichten desselben

Fig. 38.

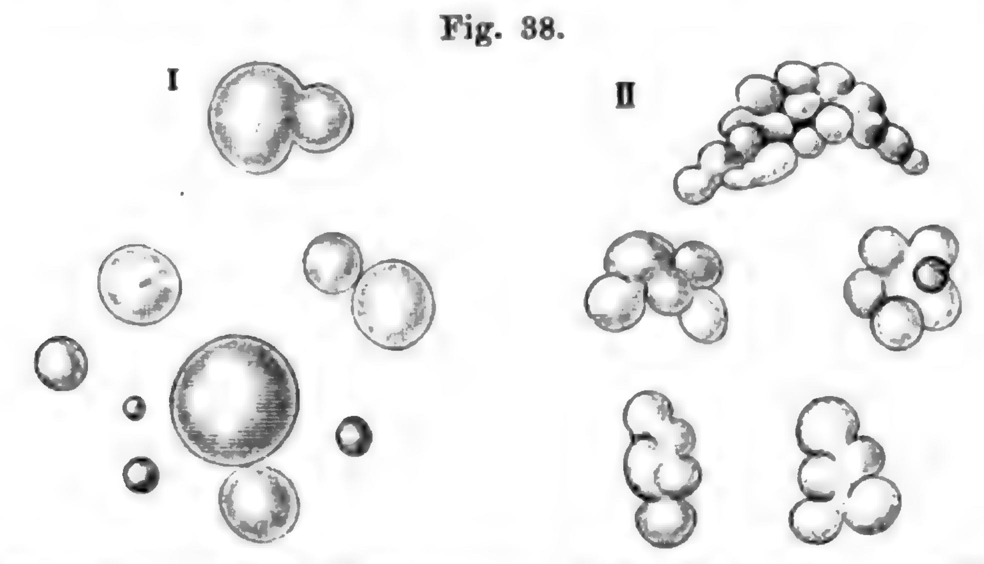


Fig. 38. Einzelne Globoide. I von Cynara scolymus. II von Bertholletia excelsa. Vergr. 1:1000.

Samens (Fig. 38, I), mannigfach und in weiten Grenzen. Meist erscheinen sie dann von besonderer Kleinheit, wenn sie in grosser Zahl auftreten (*Lupinus*, *Elaeis*, Fig. 37, I e bis g, II und III e bis g), während Einzelgloboide eine beträchtlichere Grösse von 5 μ und mehr, z. B. bei *Vitis vinifera* (Rosinen), *Aethusa Cynapium*, *Coriandrum*, *Cynara* (Fig. 34, Vb; 35 und 38, I) bis zu 10 μ erreichen. Gegen polarisirtes Licht zeigen die Globoide keine Wirkung und erweisen sich somit als einfachbrechend.

Zur Beobachtung behandelt man ölreiche Samen zunächst zur Entfettung mit absolutem Alkohol und dann mit Wasser, verdünnter, etwa 1proc. Kalilauge oder Kalkwasser, worauf dieselben in den durch die Lösung der Grundsubstanz und der Krystalloide entstandenen Höhlungen zurückbleiben (Fig. 36, III, S. 70).

Die Krystalle besitzen zwar eine geringere Verbreitung als die Globoide, finden sich indessen ziemlich häufig, namentlich in solchen Proteïnkörnern, welche keine weitere Einschlüsse enthalten. Hier und da finden sich, wie z. B. bei *Lupinus luteus*, in ein und derselben Zelle krystall- und globoidführende Proteïnkörner. Nur selten trifft man die Krystalle in Form von gut ausgebildeten Säulen oder (meist rhombischen) Tafeln (Fig. 37, IV), häufiger schon in Gestalt von Nadeln (Fig. 37, V b bis e), während sie am häufigsten zu ein zartes Plasmahäutchen und einen aus Proteïnsubstanz bestehenden, gleich ersterem in Natriumphosphat löslichen und sich dann als helles Loch kenntlich machenden Kern besitzenden Drusen (Fig. 37, V a und VI) vereinigt erscheinen. Wo ein Solitair vorhanden ist, da enthält dieser ein von dem der übrigen Proteïnkörner abweichendes Krystallgebilde, wie z. B. in dem Samen von *Silybum*

Digitized by Google

marianum, und *Lupinus luteus*, wo der erstere das eine Mal eine grosse Druse (Fig. 34, VI; 37, V a), das andere Mal eine gut ausgebildete rhombische Tafel zeigt (Fig. 37, IV), während sich in den anderen Körnern das eine Mal nadelförmige Krystalle (Fig. 34, VI und 37, V b bis e), das andere Mal Globoide (Fig. 34, III) finden.

Zur Beobachtung dienen am besten mit Natriumphosphat behandelte Schnitte, in denen dann auch die Globoide gelöst erscheinen. Im polarisirten Lichte verrathen sich auch die kleinsten Gebilde dieser Art, indem sie vermöge ihrer doppeltbrechenden Eigenschaft (bei entsprechender Lage gegen die Polarisationsebenen) im dunkeln Sehfelde hell aufleuchten und auf dem Gypsgrunde je nach ihrer Lage Additions- oder Subtractionsfarben erkennen lassen.

Chemisches Verhalten. — Die Grundsubstanz, in der nach neueren Untersuchungen die früher darin vermutheten fettartigen, in Alkohol und Aether löslichen Verbindungen gänzlich fehlen, in der aber einige andere nach der Härtung noch in Wasser lösliche, nicht näher bestimmbare Substanzen vorhanden sind, beweist durch ihr Verhalten gegen das Millon'sche Salz, Salpetersäure und Ammoniak u. s. w., sowie durch ihre, wenn auch nicht immer gleiche Färbungsfähigkeit, dass sie aus einem Eiweissstoffe besteht, der allerdings noch näherer Erforschung bedarf.

Die Globoide, welche in Wasser und Alkohol unlöslich sind, dagegen von allen anorganischen, sowie von Essig- und Weinsäure leicht und ohne Brausen gelöst werden und sich beim Erhitzen durch ihre ganze Masse schwärzen, bilden nach Pfeffer das Kalk-Magnesiasalz einer gepaarten Phosphorsäure mit organischem Paarling. Dagegen bestehen die Krystalle aus Calciumoxalat und erscheinen die Drusen um einen organischen, schon durch sein abweichendes Lichtbrechungsvermögen erkennbaren Kern gruppirt, welcher sich dadurch sicher nachweisen lässt, dass man dieselben mittelst verdünnter Salzsäure, welcher etwas Jod zugesetzt wurde, in Lösung bringt.

Krystalloide. Proteïnkrystalle.

Die Krystalloide, Proteïnkrystalle, welche man ihrer Form und ihres unzweifelhaften, hohen Eiweissgehaltes halber unter der letzteren Bezeichnung in der Histiologie einführte, erhalten, weil sie erstlich bei aller Aehnlichkeit in der Form doch in vielen Beziehungen wesentlich von den Krystallen abweichen, dann aber ihrer physikalischen und chemischen Constitution nach noch keineswegs hinreichend erforscht sind, passender den ersteren, ihnen von Nägeli beigelegten Namen.

Dieselben wurden, nachdem Hartig schon die krystallinischen Bildungen innerhalb der Proteïnkörner (Klebermehlkörner) entdeckt und als Weisskerne bezeichnet hatte, zuerst von Radlkofer als den wirklichen Krystallen ähnliche Bildungen nachgewiesen und in den Zell-

Digitized by Google

kernen verschiedener Gewebetheile der *Lathraea squamaria* aufgefunden. Maschke hat sie dann aus den Klebermehlkörnern der Paranuss dargestellt und Cohn dieselben als freie Krystalle in dem Protoplasma der unter der Korkschicht liegenden stärkefreien Zellen der Kartoffelknolle entdeckt.

Wir haben dieselben schon in dem Vorausgehenden als Einschlüsse des Kernes, der Protoplasten und Proteïnkörner kennen gelernt. Es kommen dieselben aber auch frei in dem Protoplasma, möglicherweise auch in dem Zellsaft (Berthold, Molisch, Wakker, Mikosch, Zimmermann) eingebettet vor, so z. B. wie eben erwähnt, in dem Parenchym der Kartoffel, in der Oberhaut von *Polypodium ireoides* (Kraus) und anderer Polypodiaceen und auch anderer Farne (Zimmermann), in dem Embryosack mancher Cycadeen (Warming), in den Schleimzellen der Rinde von *Abies pectinata* und *Nordmanniana* (Höhnel), in den Zellen der Blätter von *Gratiola officinalis*, *Passiflora coerulea*, *Nymphaea advena* u. a. (Zimmermann), in den Zellen vieler Meeresalgen — Florideen und Grünalgen — (Klein). Hier und da trifft man auch neben in Proteïnkörper eingeschlossenen freie Krystalloide, so in *Bertholletia*, *Myristica* u. s. w.

Zur Beobachtung der Krystalloide in dem Samen von *Bertholletia*, *Ricinus*, *Corylus*, *Sparganium* u. s. w., wo sie sich in Proteïnkörner eingebettet finden (Fig. 34, II b und VII), dienen nicht zu dünne Schnitte durch den Eiweisskörper, welche man zur Lösung der Umhüllung mit Wasser allein, mit Wasser, welchem eine Spur von Kali zugesetzt wurde oder noch besser mit Natriumphosphatlösung behandelt, und dann in Glycerin untersucht. Will man dagegen jene der Kartoffelknollen näher untersuchen, so zieht man die Korkhülle ab und nimmt einen derselben parallelen zarten Schnitt. Man findet die Krystalloide, welche übrigens nicht bei allen Kartoffelsorten und nicht immer in gleich vollkommener Ausbildung vorhanden sind, dann entweder an der Wand anliegend, oder in dem Protoplasma eingebettet, oft in der unmittelbaren Nähe des Zellkernes (Fig. 39).

Fig. 39.

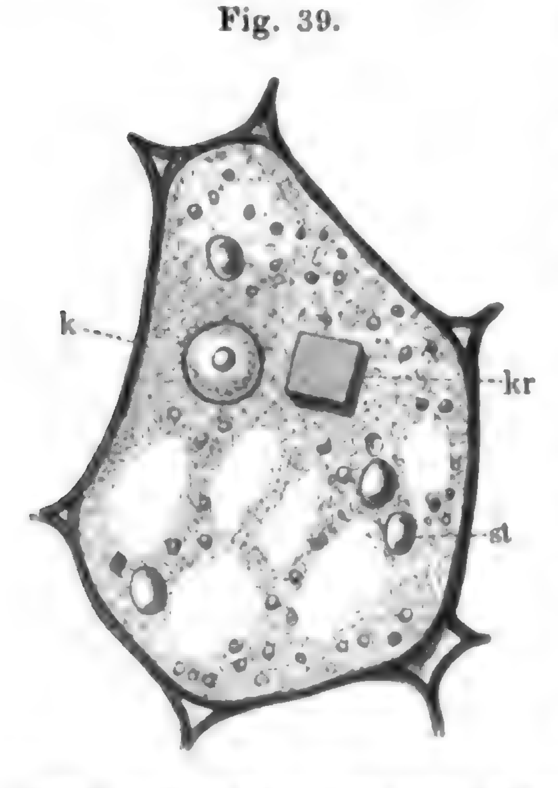


Fig. 39. Zelle aus der Rindenschicht der Kartoffelknolle. *k* Kern, *kr* Krystalloid, *st* kleine Stärkekörner. Vergr. 1 : 500.

Formen der Krystalloide. — Die Krystallform, welche bei den unorganischen Verbindungen mit der chemischen Constitution in so entschiedenem Zusammenhange steht, hängt auch hier voraussichtlich mit Verschiedenheiten in der Zusammensetzung zusammen, so dass dieselbe bei verschie-

Digitized by Google

denen Pflanzen verschieden sein kann, bei derselben Pflanze aber, trotz der mancherlei Verschiedenheiten in den abgeleiteten Gestalten, doch auf dieselbe Grundform zurückzuführen ist. Die Erkenntniss der letzteren wird — abgesehen von der Kleinheit vieler Proteïnkrystalle — dadurch erschwert, dass die Winkel nicht selten um mehrere Grade abweichen und der Parallelismus der gegenüber liegenden Flächen gestört erscheint. Indessen ist es doch gelungen, bei einer Anzahl von Fällen das Krystallsystem festzustellen, welchem die betreffenden Formen einzureihen sein dürften.

Bei der Kartoffel gehören die Krystalloide nach den Untersuchungen Cohn's sowie nach meinen eigenen Erfahrungen unzweifelhaft dem regulären System an (Fig. 40, I, a u. b, a. f. S.) und sind in dieses, nach Schimper ebenso die in den Proteïnkörnern eingeschlossenen von *Ricinus* (Fig. 40, II), *Viola* u. s. w. einzureihen. Die Krystalloide der *Lathraea* rechnet Radlkofer zu dem rhombischen, jene im Sameneiweiss von *Sparganium* zu dem hexagonalen System, in dem nach Schimper's Beobachtungen über die Krystallform auch die der Paranuss, welche nach den Beobachtungen Nägeli's dem schiefrhombischen Systeme angehören sollen und die ich früher, nach manchen der von mir beobachteten Gestalten (Fig. 40, III, a bis i), für dem rhombischen Systeme angehörend hielt, endlich die in den Samen zahlreicher anderer Pflanzen vorkommenden unterzubringen sind, während man über die Krystallform anderer, die möglicherweise theils dem regulären, theils dem rhombischen Systeme angehören mögen, noch nicht einig ist. Ausserdem kommen auch — insbesondere in den Protoplasten, doch auch sonst — keine Krystallform zeigende, theils nahezu kugel-, stäbchen-, spindel- und nadelförmige, bisweilen mehrspitzige, sowie gebogene und gewundene Formen, zu denen möglicherweise auch die von Gardiner (Proc. of the R. soc. of London. V, XXXIX, p. 229) in den Oberhautzellen von *Drosera dichotoma* und *Dioclea* entdeckten, sich nach Härtung in Pikrinsäure mittelst Hoffmann's Blau kräftig blau färbenden „Rhabdoïden“ gehören, vor. Die Zugehörigkeit dieser Gebilde zu den Krystalloiden kann durch ihr Verhalten gegen bestimmte Fixirungs- und Färbeflüssigkeiten, sowie eventuell durch ihre Unlöslichkeit in gesättigter Natriumphosphatlösung bewiesen werden. So bleibt denn für diese Untersuchungen noch ein ziemlich weites Feld offen.

Physikalisches Verhalten. — Das optische Verhalten der Krystalloide ist ihrer Gestaltung entsprechend verschieden. Alle dem regulären System angehörigen brechen das Licht einfach und äussern daher keine Wirkung im polarisirten Licht, während die hexagonalen Formen doppeltbrechend sind und in dem Polarisationsapparate eine, wenn auch verhältnissmässig schwache, namentlich bei Einschaltung eines Gypsplättchens von Roth erster, oder Violett dritter Ordnung erkennbare Wirkung ergeben. Ob unter diesen sich zweiachsig positive (*Bertholletia*- u. a.)

Digitized by Google

Fig. 40.

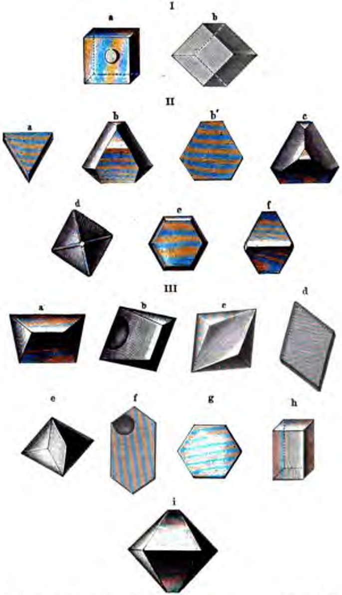


Fig. 40. Einzelne Krystalloide I *a* und *b* aus der Kartoffelknolle. II *a* bis *f* aus dem Samen von Ricinus communis, *b* und *b'* dasselbe Krystalloid bei verschiedener Einstellung. III *a* bis *i* aus dem Samen von Bertholletia excelsa. Vergr. 1 : 1000.

Digitized by Google

und zweiachsig negative (*Sparganium ramosum*) Formen finden, bedarf wohl noch erneuter Untersuchungen.

Ein weiteres Interesse gewähren die mit schliesslicher Lösung verbundenen Quellungserscheinungen, welche durch Wasser, Kalkwasser, verdünnte alkalische Lösungen, durch Säuren, durch Glycerin in Verbindung mit verdünnten Säuren hervorgerufen werden. Nägeli hat aus denselben Schlüsse auf die Constitution der Krystalloide gezogen, welche für deren Stellung gegenüber den unorganischen Krystallen von Wichtigkeit sind. Zum Studium der hier in Betracht kommenden Vorgänge verwendet man am besten durch Auswaschen des zerriebenen Albumens mittelst Oeles und wasserfreien Alkohols erhaltene, isolirte Krystalloide, und verfolgt daran die Einwirkung sorgsam von Schritt zu Schritt.

Die Krystalloide erweisen sich hierbei sämmtlich als quellbar, und zwar in der Art, dass dabei die Symmetrieverhältnisse nicht geändert werden. Die Krystalloide des regulären Systems dehnen sich demgemäss nach allen Richtungen gleichmässig aus, und es treten keine Winkeländerungen ein, während bei denjenigen des hexagonalen Systems die Quellung in den auf der Hauptachse senkrechten Richtungen gleich, in der Richtung der Hauptachse bald grösser bald kleiner sein und bedeutende Winkeländerungen bewirken kann. Mit der Quellung steht oft auch das optische Verhalten in eigenthümlichem Zusammenhange, indem z. B. nach Schimper bei den Krystalloiden von *Sparganium* bei der Quellung in Wasser die Doppelbrechung zunimmt, während dieselbe unter gleichen Umständen bei denen der Paranuss nicht geändert, beziehentlich vermindert wird.

In vielen Fällen zeigen die gequollenen Krystalloide eine Schichtung ihrer Substanz, welche bei denen von *Musa* (Schimper) und *Dasycladus clavaeformis* (Klein) schon bei Einwirkung von Wasser, bei denen der Kartoffel aber erst bei solcher von verdünnter Kalilauge, in einem Falle also schon bei schwächerer, im anderen erst bei stärkerer Quellung hervortritt, beim Rückgang der Quellung aber wieder verschwindet.

Chemisches Verhalten. — Bei der Beobachtung des mikrochemischen Verhaltens, welches je nach Umständen ein etwas verschiedenes sein kann, kann für die verschiedenen Krystalloide so ziemlich derselbe Gang eingehalten werden, und dienen dabei ebensowohl mindestens eine unverletzte Zellenlage enthaltende Schnitte durch die betreffenden Objecte, als in der eben geschilderten Weise isolirte Krystalloide.

Im Ganzen zeigen die Wirkungen, welche wir durch unsere mikrochemischen Reagentien erzielen, dass die Krystalloide aus einer eigenartigen, in gesättigtem Natriumphosphat unlöslichen Eiweisssubstanz aufgebaut sind, deren genauere Kennzeichnung indessen noch nicht gelungen ist.

Ammoniak, verdünnte Kalilösung und Kalkwasser, ebenso Essigsäure lösen sie auf, Jodlösung sowie Salpetersäure und Ammoniak färben sie

Digitized by Google

prächtig gelb, das Millon'sche Reagens — namentlich unter Zuhülfenahme von Erwärmung — zinnoberroth, schwefelsaures Kupferoxyd und Kali und ebenso Salzsäure violett, Cochenillelösung in Verbindung mit Essigsäure intensiv brennendroth. Die Färbeflüssigkeiten werden begierig aufgespeichert und geben Schnitte, in denen die Krystalloide durch 12stündiges Liegen in einer 2proc. alkoholischen Sublimatlösung gehärtet, dann mittelst 15 Minuten dauerndes Liegen in Eosinlösung gefärbt wurden, geeignete, in halbverdünntem essigsauren Kali aufbewahrbare Präparate, in denen sich jene durch dunklerrothe Färbung vor den übrigen ebenfalls gefärbten Substanzen auszeichnen. Sehr instructive Präparate liefert die auf S. 35 beschriebene Zimmermann'sche Härtungs- und Färbemethode, bei welcher die Krystalloide allein lebhaft roth, ferner durch Eosin gelb gefärbt werden. Nach Poulsen werden ferner in Schnitten, welche man 24 Stunden in absoluten Alkohol, dann 1 Stunde in eine 25proc. Tanninlösung und nach dem Auswaschen eben so lange in eine 10- bis 20proc. Lösung von Eisenvitriol gebracht hat, die Krystalloide tiefblau, fast schwarz gefärbt. Für die Zellkernkrystalloide kann auch die von Zimmermann empfohlene Doppelfärbung mittelst Hämatoxylin und Säurefuchsin zur Anwendung kommen. Die gehärteten Schnitte werden zu dem Ende nach dem Auswaschen in eine sehr verdünnte Delafield'sche Hämatoxylinlösung gebracht und mehrere bis zu 24 Stunden darin belassen, nach guter Durchfärbung kurze Zeit in Wasser ausgewaschen und dann mittelst Säurefuchsin nachgefärbt. Derart behandelte Präparate zeigen dann Kerngerüst und Kernkörperchen blauviolett, die Krystalloide lebhaft roth gefärbt.

Granula.

In dem Protoplasma des Assimilationsgewebes einer grösseren Anzahl von Phanerogamen sowohl als Farnen (Tradescantia discolor, Musa Cavendishii, Chlorophitum Sternbergianum, Aspidistra elatior, Ceratozamia mexicana, Berberis vulgaris, Impaticus Sultani, Passiflora coerulea, Aralia Sieboldii, Aucuba japonica, Nerium Oleander, Ficus elastica, Asplenium Nidus, Pteris serrulata u. s. w.) fand Zimmermann neuerdings kleine kugelförmige bis ellipsoidische, ihrem chemischen Verhalten nach zu den geformten Proteïnkörpern gehörige, nach weiteren Untersuchungen vielleicht auch den Protoplasten anzureihende Gebilde, welche derselbe als Granula bezeichnet. Dieselben stehen den nicht krystallisirten Krystalloiden sowie den Leucosomen in gewisser Beziehung, namentlich durch ihre charakteristische Färbung mit Säurefuchsin, nahe, unterscheiden sich aber von jenen durch ihr Verhalten gegen 3proc. Salpetersäure von diesen gegen 1proc. Ameisensäure und 5proc. Kalibichromat. Während die erstere die Granula neben alkoholischer Pikrinsäure gut fixirt und färbungsfähig erhält, löst dieselbe die Krystalloide entweder auf oder benimmt ihnen die Färbungsfähigkeit für Säurefuchsin. Die

Digitized by Google

anderen beiden Reagentien fixiren nach 24stündiger Einwirkung die Granula, während die Weisskörper sammt den eventuell darin enthaltenen Leucosomen bis auf geringe ungestaltete Reste zerstört werden. Zum Nachweise der Granula dient die Fixirung mittelst der genannten Mittel (3proc. Salpetersäure oder alkoholische Pikrinsäure) und Färbung mittelst Säurefuchsin, welches denselben eine intensiv rothe Farbe ertheilt, während die Protoplasten nur schwach geröthet erscheinen (Fig. VIII).

Th. Hartig: Ueber das Klebermehl. Bot. Zeitung 1855 und 1856. Entwickelung des Pflanzenkeimes. Berlin 1858.

v. Holle: Beiträge zur näheren Kenntniss der Proteïnkörner. Neues Jahrbuch für Pharmacie von Walz und Winkler, 1858.

Radlkofer: Ueber Krystalle proteïnartiger Körper pflanzlichen und thierischen Ursprungs. Leipzig 1859.

Maschke: Ueber den Bau und die Bestandtheile der Kleberbläschen in Bertholletia. Bot. Zeitung 1859.

Cohn: Ueber Proteïnkrystalle in den Kartoffeln. Jahresbericht der schlesischen Gesellschaft für vaterländische Cultur, 1859.

Nägeli: Ueber die aus Proteïnsubstanzen bestehenden Krystalloide der Paranuss. Botanische Mittheilungen. München 1862.

Kraus, G.: Ueber Eiweisskrystalloide in der Epidermis von Polypodium ireoides, in Pringsheim's Jahrbüchern, Bd. VIII, 1872.

Pfeffer: Untersuchungen über die Proteïnkörner und die Bedeutung des Asparagins beim Keimen. Ebend. Bd. VIII, 1872.

Schimper: Untersuchungen über die Proteïnkrystalle. Strassburg 1878, und: Ueber die Krystallisation eiweissartiger Substanzen. Zeitschr. f. Krystallographie und Mineralogie, Bd. V, 1881.

Klein: Die Krystalloide der Meeresalgen und: Die Zellkernkrystalloide von Pinguicula und Utricularis, in Pringsheim's Jahrbüchern, Bd. XIII, 1882.

Molisch: Ueber merkwürdig geformte Proteïnkörper in den Zweigen von Epiphyllum, in Ber. d. bot. Gesellsch. Bd. III, 1885.

Chmielewsky: Bemerkung über die von Molisch beschriebenen Proteïnkörper etc. Bot. Centralblatt 1867, II.

Leitgeb: Krystalloide in Zellkernen, in Mitth. d. bot. Inst. zu Graz 1886.

Ludtke: Beiträge zur Kenntniss der Aleuronkörner. Pringsh. Jahrb. XXI, S. 62, 1889.

Poulsen: Note sur la préparation des grains d'aleuron. Rev. géner. d. Bot. 1890, S. 547.

Krasser: Methoden zur dauerhaften Präparation des Aleuron und seiner Einschlüsse. Bot. Centralbl. XLVIII, S. 282, 1891.

Wakker: Studien über die Inhaltskörper der Pflanzenzelle. Pringsheim's Jahrb. XIX, 1888 und Ein neuer Inhaltskörper der Pflanzenzelle. Ebend. XXIII, 1891.

Mikosch: Ueber ein neues Vorkommen geformten Eiweisses. Ber. d. bot. Gesellsch. Bd. VIII, 1890.

Zimmermann: Ueber Proteïnkrystalloide. Beiträge zur Morphologie und Physiologie der Pflanzenzelle. Bd. I, Heft 1 u. 2, 1890 u. 1891.

Stock: Ein Beitrag zur Kenntniss der Proteïnkrystalle. Cohn's Beiträge. VI, 2, 1892.

b) Stärkekörner.

Vorkommen und Gestalt. — Die Stärke (das Stärkemehl) bildet den am weitest verbreiteten geformten Reservestoff, welcher vorzugs-

Digitized by Google

Fig. 41.

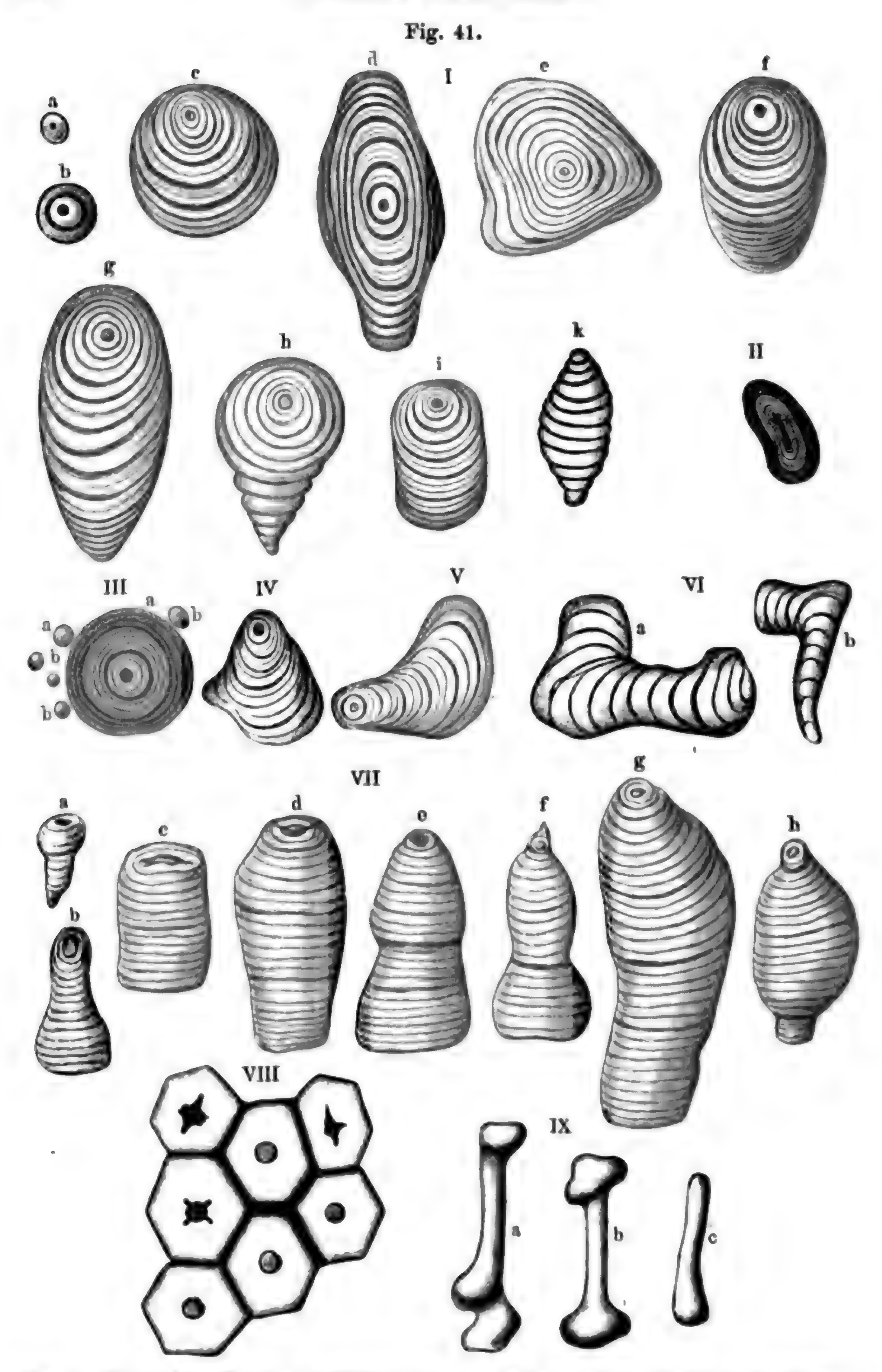


Fig. 41. Verschiedene Formen des Stärkekornes. I a, b, c, d, e, f aus der Beere von Solanum tuberosum. II aus Phaseolus multiflorus. III a und b aus Secale cereale. IV aus dem Rhizome von Galanga. V aus dem Rhizome von Curcuma. VI a und b aus dem Stamm von Dieffenbachia seguina. VII a bis h aus der Knolle von Phajus grandifolius. VIII aus dem Samen von Zea mais. IX aus dem Milchsafte von Euphorbia splendens. Vergr. 1 : 450.

weise den Baustoff für neu entstehende und sich verdickende Zellwände liefert, ausserdem aber auch zur Bildung von Proteïnstoffen verwendet wird. sowie für wichtige Lebensthätigkeiten der Pflanze in Betracht kommt. Von den Pilzen aufwärts fehlt sie mit Ausnahme der Cyanophyceen, Diatomeen, Fucoideen, Florideen und weniger Grünalgen wohl kaum in irgend einer Pflanzenclasse ganz. Dieselbe findet sich in den verschiedenen Geweben, aber in der Regel nur in den reservestoffführenden, lebensfähigen, parenchymatischen Zellen ausdauernder Pflanzenorgane und der Samen, hier und da auch in dem Inhalte und Milchsafte mancher Bastgefässe (Georginen, Euphorbien) und nur in vereinzelten Fällen in den Faserzellen des Holzkörpers. In manchen Gewebetheilen beobachtet man die Stärke das ganze Jahr hindurch, in anderen nur während der Ruheperiode, oder vorübergehend als sogenannte transitorische Stärke, wie z. B. in denen lebhaft wachsender Organe, und hat man hierauf sowohl, als auf die Vertheilung in den verschiedenen Gewebearten und Organen der Pflanzen sein Augenmerk zu richten, worauf wir später bei der Untersuchung der letzteren zurückkommen werden.

Die Gestalt der Stärkekörner bietet mancherlei Abänderungen dar und wird dieselbe, da sie für dieselbe Pflanzenart, meist auch für dieselbe Gattung oder Familie nur geringe Abweichungen und eigenartige Ausbildung zeigt, nächst dem inneren Bau, d. h. der Stellung des Kernes und der Art der Schichtenbildung, für die Erkennung einer bestimmten Stärkeart von Wichtigkeit.

Zunächst hat man zwischen einfachen und zusammengesetzten Stärkekörnern zu unterscheiden, von denen die ersteren die grösste Verbreitung besitzen, während die letzteren nur in einzelnen Familien vorkommen. Die einfachen Stärkekörner sind ihrer Form nach 1) rundlich, namentlich solche von geringerer Grösse, und zwar seltener kugelig, häufiger linsenförmig zusammengedrückt (Kartoffel, Canna, Lilie, Gräser, Leguminosen u. s. w.); 2) oval (grössere Körner der Leguminosen); 3) länglich, dickspindelförmig, keilförmig oder kegelförmig (grössere Körner aus der Frucht der Kartoffel, aus den Knollen der letzteren, der Cannaarten u. s. w.); 4) flach und unregelmässig scheibenförmig in den Rhizomen der Zingiberaceen; 5) stabförmig in dem Milchsafte der einheimischen und tropischen Wolfsmilcharten, 6) polyëdrisch (dicht zusammengedrängte Körner aus dem Sameneiweiss von Zea mais etc.) (Fig. 41, I bis IX).

Die zusammengesetzten Stärkekörner, deren einzelne Körner man dann als Theilkörner bezeichnet, können aus nur wenigen oder aus einer sehr grossen Zahl dieser letzteren gebildet sein und finden sich namentlich in den Zwiebeln der Herbstzeitlose, in der Wurzelrinde der Sassaparilla, in der Wurzel der Zaunrübe, in den Samen der Chenopodiaceen, der Commelyneen. Dieselben können dabei einen nur losen Zusammenhang besitzen und zerfallen dann leicht in ihre Theilkörner. Hier und da ist jedoch die Verbindung eine innigere und die Trennungslinien für

das Auge verschwinden, wie bei den Samen der letztgenannten Familie, wodurch dann ganz eigenartige Bilder entstehen, deren Form je nach der Zusammenordnung der letzteren wechselt, am häufigsten jedoch einen Kugelab- oder Ausschnitt vorstellt (Fig. 42, I bis IV).

Zwischen den einfachen und zusammengesetzten Stärkekörnern, gleichsam in der Mitte, stehen die sogenannten halb zusammengesetzten

Fig. 42.

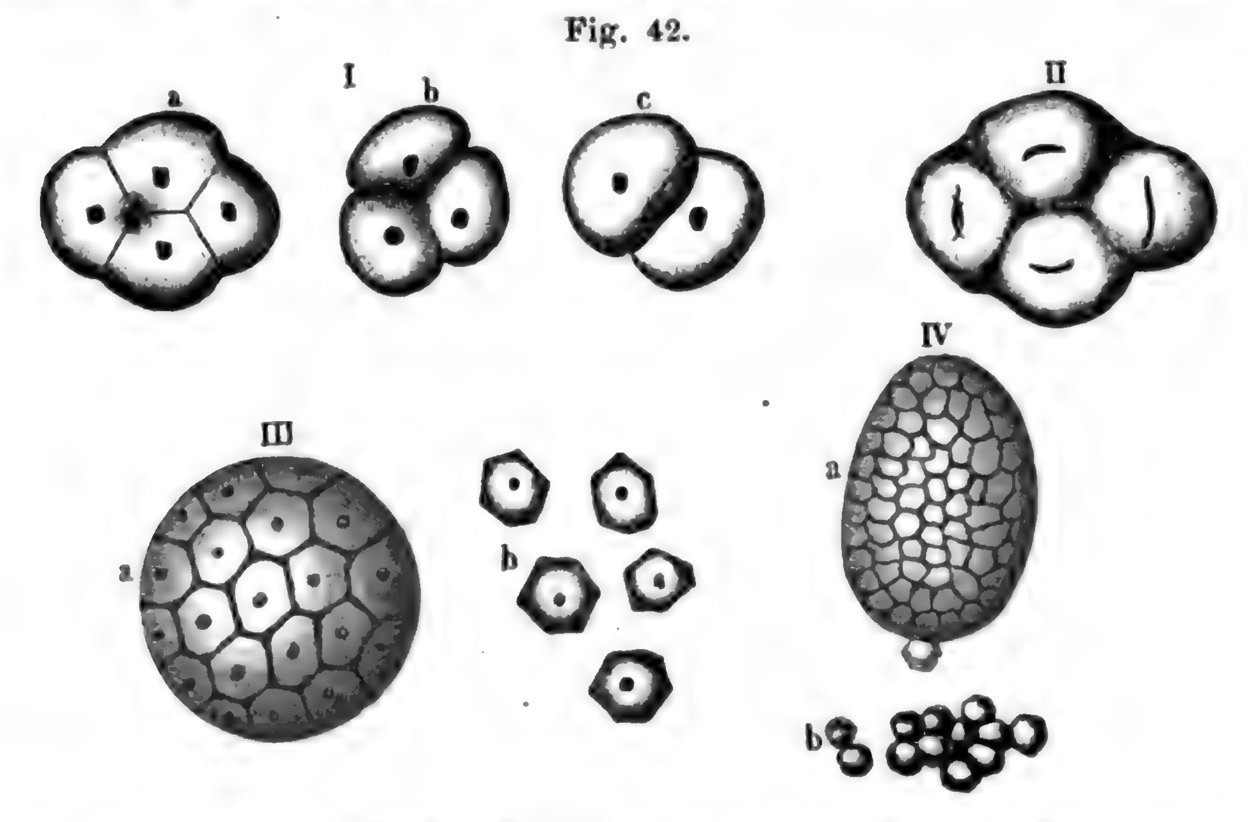


Fig. 42. Zusammengesetzte Stärkekörner. I, *a* bis *c* aus dem Marke von Smilax sassaparilla. II aus dem Cotyledon von Vicia Faba. III aus dem Endosperm von Avena sativa. IV aus dem Endosperm von Beta trigyna. Vergr. 1 : 750.

Stärkekörner (Fig. 43, I und II), bei denen zwei oder einige mehr oder weniger herangewachsene Stärkekörner von einer gemeinsamen dickeren oder dünneren Stärkehülle umschlossen werden.

In Bezug auf die Grösse wechseln die Stärkekörner sehr bedeutend. Man findet solche von nur 1 Mikron (0,001 mm) Durchmesser, dagegen aber auch andere, wo der letztere nicht weniger als 200 Mikron (0,2 mm) erreicht. Selbst bei ein und derselben Pflanze ist dieser Unterschied ganz ausserordentlich, namentlich wenn dieselbe grössere Stärkemehlkörner führt, wie die Kartoffelfrucht, die Kartoffelknollen, die Knollen der Canna-Arten u. s. w.

Structur der Stärkekörner. — Die Structur des Stärkekornes bietet für die Untersuchung manches Interessante. Die meisten Stärkeformen zeigen schon, wenn sie mit Wasser benetzt betrachtet werden, einen geschichteten Bau. Bei anderen Formen kann man die Schichtung erst nach vorheriger Anwendung von chemischen Mitteln, wozu sich namentlich Chlorzinkjodlösung in der Wärme angewendet eignet, sichtbar machen. Sämmtliche Schichten sind um einen inneren, in der Regel kugelförmigen, weicheren, schwächer lichtbrechenden, in einigen Fällen

Digitized by Google

auch mächtig entwickelten, der Form des Kornes entsprechenden mittleren Theil, den Kern, gelagert, der bald im Mittelpunkte des Stärkekorns steht (Fig. 41 I a, b, d, e, II, III u. VIII), bald eine mehr oder minder excentrische Stellung einnimmt (Fig. 41, I c, f bis k und IV bis VII), bald von sphärischer (Fig. 41, I), bald von länglicher Gestalt ist (Fig. 41, II, VII a bis d). Hierdurch wird denn auch ein bald mehr

Fig. 43.

Fig. 43. Halbzusammengesetzte Stärkekörner. I, a bis k aus der Beere von Solanum tuberosum. II, a bis c aus der Scheinknolle von Phajus grandifolius. Vergr. 1 : 400.

concentrischer, bald ein mehr excentrischer, oft ganz unregelmässiger und eigenartiger Verlauf der Schichten bedingt.

Ein ganz besonders geeignetes Object zum Studium dieser Structurverhältnisse bieten die Stärkekörner aus der Frucht (Beere) der Kartoffel, dem Wurzelstock, dem Sameneiweiss und den Knollen der Canna-

Digitized by Google

Arten, bei denen die Schichtung sehr stark ausgeprägt ist. Man kann entweder feine Schnitte beobachten, oder aus dickeren Schnitten durch Zerzupfen mit der Nadel die Stärkekörner freilegen und die Gewebefetzen aus dem Präparat entfernen. Am schärfsten ist die Zeichnung unter Wasser, indessen lässt sie sich auch in verdünntem Glycerin noch sehr gut und scharf gezeichnet erkennen. In Wasser eingedeckte Dauerpräparate, denen indessen an Schärfe der Zeichnung in Glyceringelatine aufbewahrte Stärkekörner nicht viel nachgeben, kann man durch Umziehung mit einem Wachsrande und darauf folgenden sorgfältigen Verschluss mit Bernsteinlack herstellen (wenigstens haben sich solche bei mir seit längerer Zeit gut gehalten). Bei den Stärkekörnern der Kartoffelbeere stellt sich das Bild der Schichtung, welche nach aussen stets mit einer stark lichtbrechenden Schicht abschliesst, im Allgemeinen so dar (Fig. 44, I), dass von dem

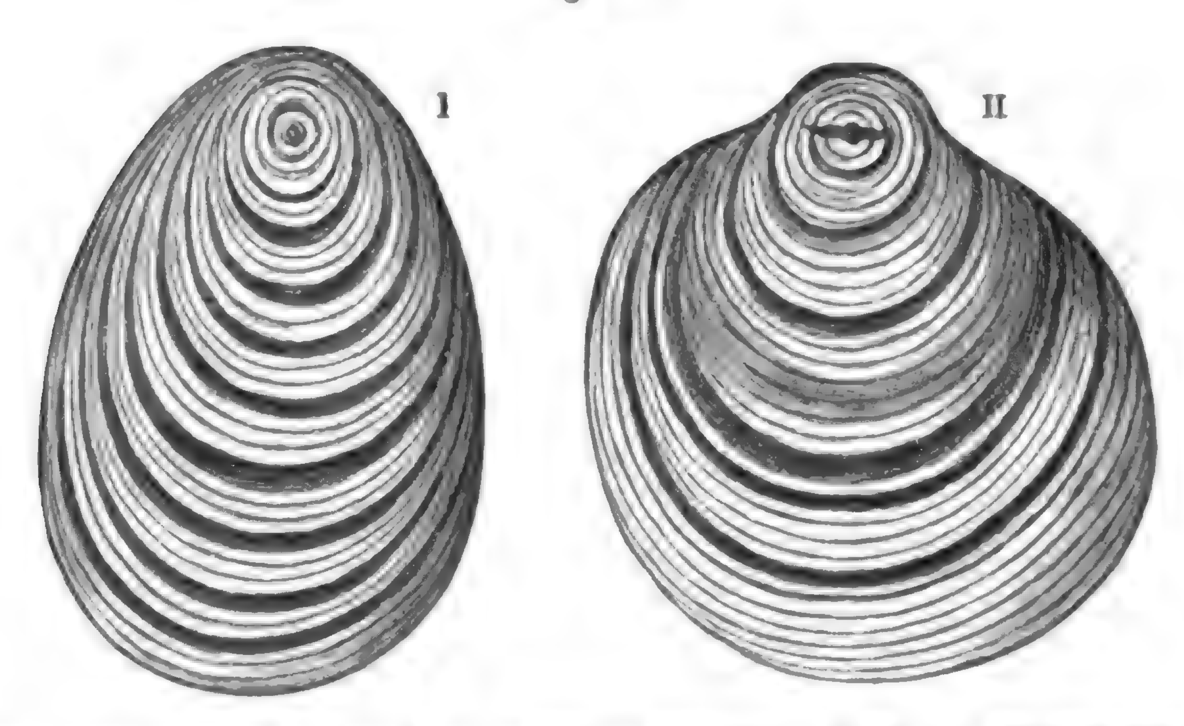


Fig. 44. Stärkekorn. I aus der Beere von Solanum tuberosum. II aus dem Rhizome von Canna spec. Vergr. 1 : 1000.

schwächer lichtbrechenden Mittelpunkte des Kernes aus stärker lichtbrechende, hellbläuliche, glänzende Schichten von geringer Breite (Dicke) mit schmäleren, gleich breiten oder breiteren, schwächer lichtbrechenden, blassen, matteren abwechseln. Bei mittelpunktständigem Kerne sind diese Schichten in ihrem ganzen Umfange je gleich breit (Fig. 41, I e u. III). Bei excentrischem Kerne, wobei dieser nur von einigen wenigen concentrischen Schichten umgeben ist, keilen sich die letzteren nach dem Pole des schwächeren Wachsthums, je nach Umständen, mehr oder minder aus, und treten unter Schwinden der schwächer lichtbrechenden zugleich so nahe an einander, dass sie oft nicht mehr zu unterscheiden sind, während in der Achse des bevorzugten Wachsthums, namentlich auch die schwächer lichtbrechenden, an Breite bedeutend zunehmen und dann bei den einen und anderen, je nach der Breite derselben, noch ein bis drei äusserst

Digitized by Google

schmale, entgegengesetzt lichtbrechende Streifen innerhalb derselben auftreten (Fig. 44, I). Sind die Körner von länglicher, schmal-keilförmiger oder breit-spindelförmiger Gestalt, so bilden die Schichten in einem gewissen Abstande vom Kerne nur noch Kugelhauben, in denen die stärker lichtbrechende Schicht die schwächer lichtbrechende umfasst (Fig. 41, I k und VII). Bei Canna, wo die erstere Form der Schichtenbildung in den jüngeren Theilen der Körner Regel ist, treten sehr zahlreiche, feine, etwa gleich breite Lamellen auf und es werden nur grössere Schichtencomplexe durch breitere weiche von einander getrennt (Fig. 44, II).

Nach Nägeli, dem sich andere Autoren angeschlossen haben, rührt der eben beschriebene Wechsel zwischen stärker und schwächer lichtbrechenden Schichten oder Schichtenblättern (Lamellen) von auf einander folgenden, wasserreicheren und wasserärmeren — möglicherweise auch von ihrer noch näher zu erforschenden, chemischen Zusammensetzung nach verschiedenen — Theilen des Stärkekorns her, welche in Folge des hierdurch veranlassten verschiedenen lichtbrechenden Vermögens in die Erscheinung treten. Nach älterer Ansicht, welche das Wachsen im Gegensatze zu Nägeli, welcher Wachsthum durch Intussusception und spätere Differenzirung der Schichten annimmt, durch Apposition geschehen lässt, die Thatsache des wirklich vorhandenen Unterschiedes in der Dichtigkeit der Schichten aber übersehen und in neuerer Zeit wieder an Anhängern gewonnen hat, soll dagegen das Stärkekorn aus von einander getrennten, von innen nach aussen über einander gelagerten homogenen, durch lufthaltige Zwischenräume von einander getrennten Schichten bestehen, nach Strassburger endlich sollen die dunklen Streifen lediglich durch die an den Seiten der Schichten, den „Adhäsionsflächen", bewirkten Ablenkungen der Lichtstrahlen, auf welche wir bei der Schichtung der Zellwandverdickung näher eingehen werden, hervorgerufen werden.

Ausser den beschriebenen Unterschieden im Lichtbrechungsvermögen ist aber noch ein weiteres Anzeichen des inneren Baues vorhanden, welches von Nägeli übersehen worden war. An der Aussenseite der stärker lichtbrechenden Schichten treten nämlich feinere, hier und da aber auch, namentlich in der Achse des stärkeren Wachsthums, breitere, dem Schichtenverlauf genau folgende Linien auf, welche weit dunkler gezeichnet erscheinen, als die schwächer lichtbrechenden Schichten. Diese aber führen zu dem Schlusse, dass theils kleinere, aus einer stärker und einer schwächer lichtbrechenden Lamelle bestehende, theils grössere Schichtencomplexe deutlich und zwar durch nicht mit Stärkesubstanz erfüllte Zwischenräume von einander getrennt werden, und dass diese Trennung auch da thatsächlich vorhanden ist, wo sie in Folge der dichten Aufeinanderlagerung der Schichten der Beobachtung entgeht.

Um sich mit der Structur der Stärkekörner gehörig vertraut zu machen und die Ursache der Schichtung zu ermitteln, d. h. sich von der Richtigkeit der Nägeli'schen oder der anderen Ansicht zu überzeugen, muss man dieselben sowohl unverletzt als in Form von zarten Durch-

Digitized

schnitten (H., S. 771 u. f.; G., S. 370 u. f.) frisch wie getrocknet, und zwar sowohl ausser als unter Wasser, wie auch unter wasserentziehenden und stärker brechenden Zusatzflüssigkeiten, als Alkohol, concentrirtes Glycerin, Canadabalsam, Anisöl, Schwefelkohlenstoff, endlich von Luft umgeben, betrachten.

Man wird dann finden, dass 24 Stunden oder länger in absoluten Alkohol eingelegte und in demselben Mittel beobachtete Stärkekörner die Schichtung recht scharf, jedoch in Folge des imbibirten Alkohols die weichen etwas heller, die erwähnten Trennungslinien dunkler, als frische unter Wasser beobachtete Körner zeigen. Umhüllt man die aus dem Alkohol genommenen, rasch mit Fliesspapier abgetrockneten Stärkekörner mit fettem oder flüchtigem Oele, Monobromnaphtalin, Canadabalsam, Dammarlack und dergleichen, oder frische, ihren normalen Wassergehalt besitzende Stärkekörner mit concentrirtem Glycerin, so lässt die Sichtbarkeit der feineren Structur — obwohl die Beschaffenheit des Einschlussmittels eine bestimmte optische Wirkung darauf äussert — nichts zu wünschen übrig.

Trocken in Luft betrachtete Stärkekörner zeigen eine geringere Anzahl von Schichten, als im feuchten Zustande betrachtete, indem in dem unschönen und unklaren Bilde nur die oben beschriebenen Trennungsspalten noch kenntlich hervortreten. Ganz verschwindet indessen die Schichtung nicht immer, wie dies von Nägeli behauptet wird. Hier und da sieht man dieselbe, wenn auch nur schwach angedeutet, und mag dies damit zusammenhängen, dass die weicheren Schichten in dem einen Falle das Wasser stärker zurückhalten als im anderen.

Bringt man eingetrocknete Stärkekörner wieder in Wasser, so tritt die Schichtung sofort wieder klar hervor. Dagegen bleibt dieselbe bei Umhüllung mit concentrirtem Glycerin anfänglich, mit Ausnahme der Trennungsflächen, längere Zeit verschwunden und tritt erst nach einigen Tagen wieder schwach hervor, während sie in fettem Oele, Canadabalsam u. s. w. nicht wieder sichtbar wird.

In neuester Zeit hat Correns (Pringsh. Jahrb., Bd. XXIII, S. 331) die von His und Recklingshausen in die Thierhistologie eingeführte Versilberung zum Nachweise der Schichten verschiedenen Wassergehaltes empfohlen. Isolirte und bei etwa 50° getrocknete Stärkekörner werden mit einigen Tropfen 5proc. Silbernitratlösung übergossen und dann eine grosse Menge einer schwachen Kochsalzlösung zugesetzt und dann längere Zeit dem Lichte (am besten directem Sonnenlichte) ausgesetzt. Die Stärkekörner zeigen nun in Folge der Reduction des gefällten Chlorsilbers an Stelle der schwächer lichtbrechenden Schichten dunklere Linien, welche sich theilweise bei stärkeren Vergrösserungen in Pünktchenreihen (Silberkörner) auflösen. Ob die von Correns angenommene Deutung dieser Erscheinung richtig sei, erscheint mir vorläufig noch zweifelhaft und werde ich später bei der Verdickung der Zellwand näher darauf zurückzukommen haben.

Digitized by Google

Ausser dem Einflusse, welchen die genannten optischen Reagentien äussern, hat man ferner die Wirkung von Säuren, Alkalien und alkalischen Salzen, namentlich auch des Kupferoxydammoniaks wie des essigsauren Kalis, des Chlorcalciums, des Eau de Javelle, dann der feuchten und der trockenen Wärme zu studiren, wobei zunächst die schwächer wirkenden Mittel und dann erst auch die stärker wirkenden, wie Kali, Natronlauge, zur Anwendung zu bringen und für eine ganz allmälige Einwirkung derselben dadurch Sorge zu tragen ist, dass man dem in Wasser liegenden Präparate einen am Rande des Deckglases aufgegebenen Tropfen des Reagens zufliessen lässt, während am entgegengesetzten Rande ein Streifen Fliesspapier das Wasser aufsaugt. Unter dem Einflusse der genannten chemischen Agentien erfolgen immer die verschieden dichten Partien des Stärkekornes und der Schichten in verschiedener Weise treffende Quellungserscheinungen (Fig. 45, I a bis i und II, a. f. S.), deren Verlauf man sich zur Anschauung bringen muss.

Die schwächer quellungerregenden Mittel, wie Ammoniaklösung, Chlorcalcium, verdünnte Chromsäure (5 bis 15 Proc.), wirken zunächst derart, dass die Trennungsspalten sich erweitern und die feinere Schichtung in den weniger lichtbrechenden Schichtencomplexen schärfer hervortritt. In einem gewissen Abschnitte der Quellung, welche von dem Kerne und den Trennungsspalten aus auf die benachbarten Theile und zwar am raschesten von dem ersteren aus fortschreitet, sieht man — jedoch nicht immer an allen Körnern gleich deutlich — eine radiale Streifung auftreten, welche in den stärker lichtbrechenden Theilen am deutlichsten erscheint (Fig. 45, I d u. II). Weiter wird die Schichtung, sowie diese Streifung undeutlicher und es verwandelt sich das Innere des Kornes, sowie die Umgebung der Spalten unter bedeutender Vergrösserung des Kornes in eine gleichartige Masse, während die äusseren Theile noch schwache Schichtung zeigen und man diese auch noch, so weit sie eben dem äusseren — hier dem Beobachter zugewendeten — den inneren Hohlraum überdeckenden Theil angehören, über den letzteren wegziehen sieht (Fig. 45, I e). In diesem Abschnitte tritt auch am Kernende die bekannte Einfaltung der äusseren widerstandsfähigeren Schichten ein (Fig. 45, I c), jedoch so, dass in der Regel eine äusserste Lamelle nicht daran theilnimmt. Von da ab wird die Quellung unter Verzerrungen, Faltungen, Reissen der äusseren Schichten und Hervorquellen der inneren gleichartigen Masse unregelmässig und endet schliesslich mit der völligen Lösung des Kornes. In ähnlicher Weise wirken die stärker quellenden Mittel, nur dass der Verlauf ein weit rascherer ist und je nach Umständen eine oder die andere der geschilderten Zwischenstufen übersprungen wird.

Die Einwirkung der trockenen Wärme ist verschieden, indem in Folge derselben die Schichtung bald deutlicher und zwar bis zum Abblättern der einzelnen Schichten hervortritt, bald mehr und mehr, bis zum völligen Verschwinden, abnimmt.

Digitized by Google

Fig. 45.

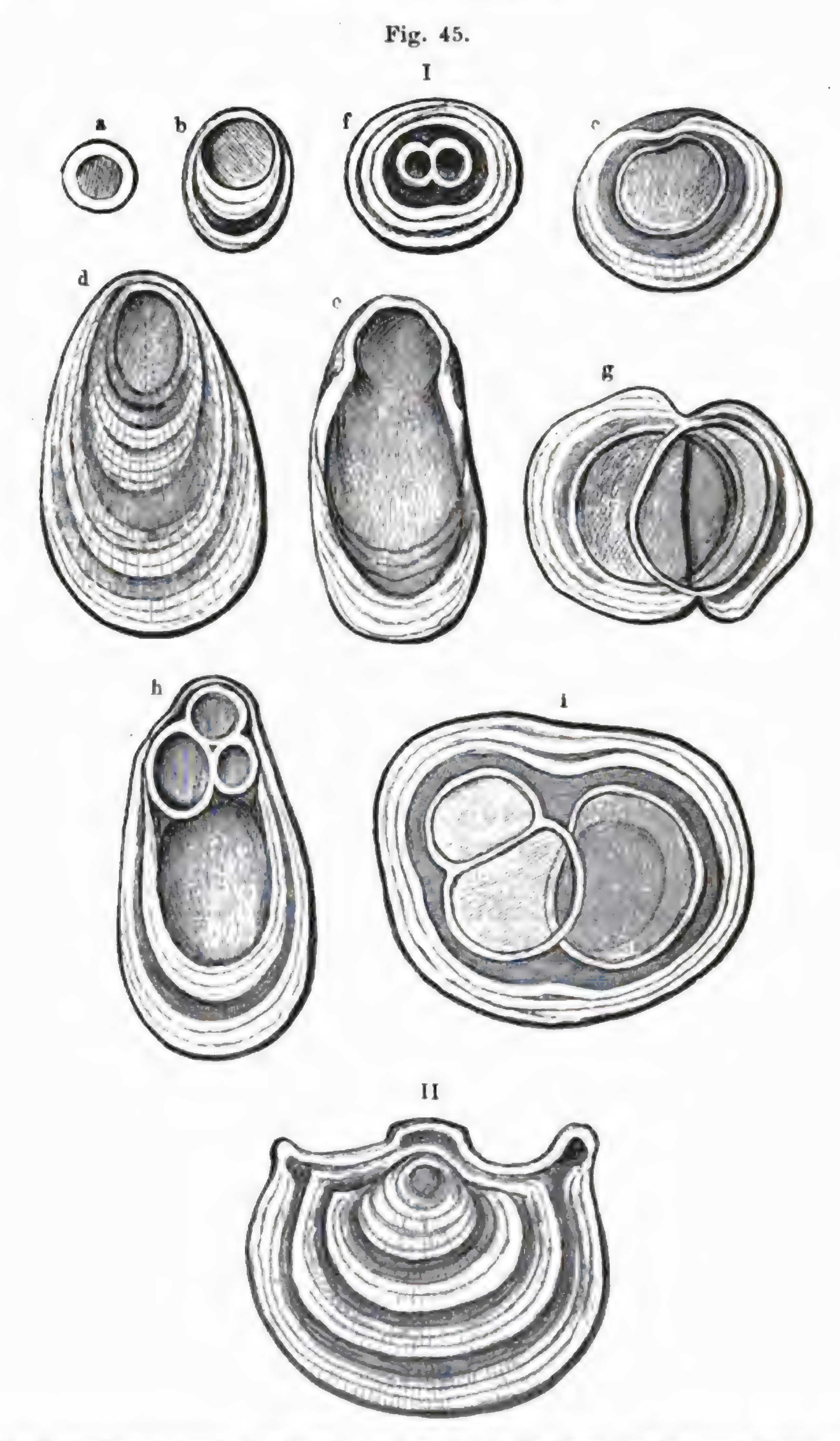


Fig. 45. Quellungszustände der Stärke. I, *a* bis *i* aus der Beere von Solanum tuberosum in essigsaurem Kali. II aus dem Rhizome von Canna indica in 5 proc. Chromsäure. Vergr. 1 : 800.

Digitized by Google

Von Wasser umhüllte Stärkekörner verhalten sich beim allmäligen Steigern der Temperatur ganz ähnlich wie die mit schwächer quellenden Mitteln behandelte.

Optisches Verhalten. — Im polarisirten Lichte zeigen die Stärkekörner das neutrale Kreuz, dessen Arme je nach der Form des Kornes, d. h. je nach der centrischen oder excentrischen Lage des Kernes und dem dadurch bedingten Schichtenverlaufe, in verschiedenen, aber stets auf den an die betreffenden Schichten gelegten, den Schwingungsebenen der Nicols parallelen Tangenten senkrecht stehenden Richtungen verlaufen (Fig. 46, I bis V). Bei eingeschaltetem Gypsplättchen erscheint

Fig. 46.

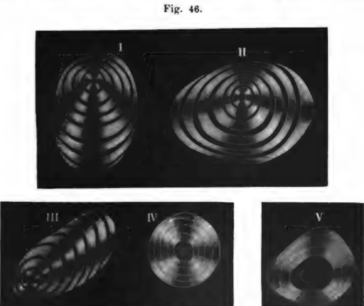


Fig. 46. I bis III Stärkekörner aus der Frucht der Kartoffel in verschiedenen Stellungen. IV flach linsenförmiges Korn aus dem Samen des Weizens. V aus dem Samen der Erbse.

der optische Durchschnitt der Umgebung des Kernes, wie die Kreuzesarme in der Farbe des Sehfeldes, während sich die beiden unter + 45° dahingehenden Quadranten in Additions-, die unter — 45° liegenden in Subtractionsfarben zeigen (Fig. IX, a u. b). Haben wir ein Gypsplättchen von Roth erster Ordnung, so steigen die Additionsfarben, vom Rande an schnell von Violett auf Indigo, Blau, Blaugrün zweiter Ordnung, um dann gegen die Mitte hin langsamer durch Blau, Indigo, Violett bis zur Farbe des Gypsgrundes zu sinken. Die Subtractionsfarben steigen und sinken in gleicher Weise in Dunkelorange, Gelb Gelblichweiss, Gelborange, Dunkelorange, Roth. Diese Aenderung der

Digitized by Google

Farben tritt besonders deutlich an dicken, kugeligen oder ellipsoïdischen, die neutrale Zone um den Kern namentlich an flachen, scheibenförmigen Körnern hervor.

Aus dem geschilderten Verhalten folgt, dass die grösste Achse des Elasticitätsellipsoides senkrecht zu den Schichten liegt, die mittlere und kleinste dagegen in der Tangentialebene dahingehen, falls die Stärke optisch zweiachsig wäre. In Betracht des Verhaltens der Mitte centrischer oder der Kernzone excentrischer Körner würde aber anzunehmen sein, dass die beiden letzteren entweder nur wenig von einander verschieden, oder dass sie gleich, die Stärkekörner also optisch einachsig und für diesen Fall optisch positiv wären.

Im dunklen Sehfelde wie auf dem Gypsgrunde erscheinen die einzelne Schichten und Schichtencomplexe trennenden Spalten neutral, während die stärker lichtbrechenden Lamellen stärkere, die schwächer lichtbrechenden dagegen schwächere Polarisationsfarben gleicher Art zeigen, so dass sich die ersteren als Substanzlücken, die anderen als molecular verschieden aufgebaute Stärkeschichten erkennen lassen.

Zur Entscheidung der Frage, ob die Doppelbrechung des Stärkekornes auf Spannungen zurückzuführen, oder ob sie dem elementaren Aufbau der Schichten zuzuschreiben ist, wie dies neuerdings von Schimper u. A. behauptet wurde, ist die Aenderung der Polarisationserscheinungen während der Quellung zu verfolgen. Hier zeigt sich nun, dass, wenn der innere Theil des Stärkekornes durch Quellung in Chlorcalcium, essigsaurem Kali, oder mittelst feuchter Wärme schon in eine homogene Masse verwandelt ist und die Schichten des äusseren Theiles bedeutend gedehnt erscheinen, die Polarisationserscheinung in diesen, und zwar so lange keine Aenderung erleidet, als die Zusammensetzung der Lamellen aus stäbchenförmigen Körperchen noch zu erkennen ist. Mit dem Abnehmen der Sichtbarkeit dieses feineren Baues nimmt, auch wenn die Lamellen selbst noch schwach sichtbar sind, die Doppelbrechung allmälig ab und verschwindet endlich vollständig.

Würden Spannungen die Doppelbrechung bedingen, dann müsste dieselbe in den durch die inneren quellenden Theile stark gedehnten äusseren Schichten schon schwache oder keine Polarisationserscheinungen zeigen, was, wie wir gesehen haben, so lange nicht der Fall ist, als die feinere Structur nicht aufgehoben erscheint. Es muss die Doppelbrechung dem beobachteten Verhalten nach offenbar in den einzelnen, die Lamellen aufbauenden Stäbchen liegen, und zwar muss in denselben das Elasticitätsellipsoid derart gedacht werden, dass die grösste Elasticitätsachse mit deren Längsachse parallel — d. h. senkrecht zu den Schichtenlinien — dahingeht.

Chemisches Verhalten und Nachweis der Stärke. — Das Verhalten der Stärke, deren Zusammensetzung mit derjenigen des Zellstoffes gleich ist und nach neueren Untersuchungen der Formel

Digitized by Google

$C_6H_{10}O_5$ entspricht, gegen Jod bietet das geeignetste Mittel zum Nachweis derselben durch das Mikroskop. Dieses Reagens, welches man am besten in Form einer frisch bereiteten verdünnten Jodlösung (einige Tropfen einer alkoholischen Lösung in mehreren Cubikcentimeter Wasser), verdünnter Jod-Jodkaliumlösung oder derart benutzt, dass man ein Körnchen Jod in Substanz an den Rand des Deckglases und in Berührung mit dem umhüllenden Wasser bringt, ertheilt je nach der Concentration den Stärkekörnern eine indigoblaue bis tief schwarzblaue Färbung, die nur bei denjenigen, welche neben Stärkesubstanz noch kleinere oder grössere Mengen von Amylodextrin und Dextrin enthalten, in eine rothblaue, violette oder rothe Färbung übergeht.

Für solche Gewebe, wo die Stärke entweder in geringer Menge gelöst, in sehr kleinen Körnchen oder in Chlorophyll eingeschlossen vorkommt, genügen die einfacheren Methoden keineswegs und man ist genöthigt, ein etwas umständlicheres Verfahren einzuschlagen, zu dem Sachs, Böhm, A. Meyer und Heinricher in den weiter unten bezeichneten Abhandlungen Anleitung gegeben haben.

Enthalten die zu prüfenden Gewebe kein Chlorophyll, so erwärmt man zarte Schnitte in Kalilösung, lässt sie einige Zeit darin liegen, wäscht dann mit Wasser gut aus und neutralisirt schliesslich durch Essigsäure. Verdünnte alkoholische Jodlösung, auf einen derartigen Schnitt angewendet, ruft jetzt die bekannte, charakteristisch blaue Färbung hervor, und man erkennt unter starken Vergrösserungen die Stärke entweder in Form von aufgequollenen blauen Körnchen oder als blauen Kleister inmitten des gelb gefärbten Protoplasmas. Wo das Chlorophyll die Reaction verdeckt, da müssen die betreffenden Pflanzentheile zuerst in starkem Alkohol an der Sonne liegend gebleicht, und dann auf dieselben das eben beschriebene Verfahren angewendet werden. Ebenso sicher führt die Lösung des Chlorophyllfarbstoffes mittelst Chloralhydratlösung (5 Theile auf 2 Theile destillirten Wassers), wenn man derselben auf dem Objectträger etwas Jodlösung zufügt, oder die vorgängige Behandlung mit Eau de Javelle und nachfolgende Färbung mit Jodlösung zum Ziele. Die Stärkekörnchen quellen dabei auf und erscheinen heller und schön blau gefärbt.

Die früher von Karl Nägeli aufgestellte und vertheidigte Ansicht, dass das Stärkekorn aus einem innigen Gemenge von zwei chemisch verschiedenen, sich durch ihr Verhalten gegen den thierischen Speichel, oder gegen eine etwas freie Salzsäure enthaltende Kochsalzlösung unterscheidenden Substanzen bestehe, welche er für Granulose und Cellulose erklärte, ist in der neueren Zeit durch die Untersuchungen von Walter Nägeli und A. Meyer widerlegt worden.

Bringt man die Stärkekörner im Verein mit etwa 40 Theilen thierischen Speichels oder oben genannter Lösung in einen verschlossenen kleinen Kolben oder Reagenscylinder und setzt dieselben im ersteren Falle während 8 bis 10 Tagen einer Temperatur von 38 bis 50° C., im

Digitized by Google

anderen 2 bis 4 Tage einer solchen von 60° C. aus, so soll nach dem erstgenannten Forscher nach Verlauf dieser Zeit die lösliche Modification der Stärke, die „Granulose“, vollständig ausgezogen sein, und ein Skelett der unlöslichen Modification „Cellulose“ zurückbleiben. Diese Skelette, welche noch die ursprüngliche Gestalt besitzen und meist auch die Schichtung noch deutlich zeigen, lösen sich nicht mehr in kochendem Wasser, nehmen in wässeriger Jodlösung je nach deren Concentration keine, eine blasskupferrothe, kupferrothe bis rothbraune Färbung an, und gehen durch Behandlung mit den oben genannten quellungerregenden Reagentien in Lösung über. Während nun Nägeli dieses Verhalten dahin deutete, dass die fraglichen Skelette aus Stärkecellulose beständen, hat Meyer durch vergleichende Reactionen an künstlich dargestellten Amylodextrin-Sphärokrystallen nachgewiesen, dass dieselben aus krystallinischem Amylodextrin gebildet werden, welches durch eine vermöge der Einwirkung der genannten Fermente hervorgerufene chemische Umwandlung der Stärkesubstanz entstanden ist.

J. Fritsche: Ueber das Amylum. Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie. Bd. XXXII. 1834.

Payen: Memoire sur l'amidon, considéré tous les pointes de vue anatomique et physiologique. Ann. des sciences nat. X. 1838.

Schleiden: Grundzüge, 1. und 4. Auflage.

Nägeli: Stärkebläschen, Stärkekörner. Zeitschrift für wissenschaftliche Botanik von Schleiden und Nägeli. Bd. I, Heft 3 und 4. 1846. — Die Stärkemehlkörner. Zürich. Ferner in „Nägeli und Cramer, pflanzenphysiologische Untersuchungen“: Stärke. 1858. — Die Reaction von Jod auf Stärkekörner und Zellmembranen. 1. und 2. Theil. Sitzungsberichte der königl. Bayer. Akademie der Wissenschaften. 1862 und 1863. — Ueber die chemische Zusammensetzung von Stärkekörnern und Zellmembranen; ferner: Ueber die chemische Verschiedenheit der Stärkekörner. Sitzungsberichte u. s. w. 1863. — Das Wachsthum der Stärkekörner durch Intussusception. Bot. Ztg. 1881.

Th. Hartig: Ueber den Bau des Stärkemehls. Bot. Zeitung 1855 und 1856. — Entwickelung des Pflanzenkeimes. 1858.

H. v. Mohl: Ueber den vorgeblichen Gehalt der Stärkekörner an Cellulose. Bot. Zeitung 1859.

W. Kabsch: Ueber die Löslichkeit des Stärkemehls und sein Verhalten im polarisirten Licht. Zürich 1861.

J. Sachs: Ueber die Stoffe, welche das Material zum Aufbau der Zellhäute liefern. Pringsheim's Jahrbücher, Bd. III, 1862. — Ueber die Entstehung der Stärke in den Blättern. Monatshefte der Annalen der preussischen Landwirthschaft. Berlin 1863. — Lehrbuch der Botanik. 4. Aufl. Leipzig 1874, und Handbuch der Experimentalphysiologie. Leipzig 1865.

Walter Nägeli: Beiträge zur näheren Kenntniss der Stärkegruppe. München 1874.

Schimper: Untersuchungen über die Entstehung der Stärkekörner. Bot. Zeitung 1880. Untersuchungen über das Wachsthum der Stärkekörner. Ebend. 1881.

A. Meyer: Ueber die Structur der Stärkekörner. Bot. Zeitung 1881. Ueber die wahre Natur der Stärkecellulose Nägeli's. Ebend. 1886. Ueber Stärkekörner, welche sich mit Jod roth färben. Ber. der bot. Gesellsch. 1886.

Heinricher: Verwendbarkeit der Eau de Javelle zum Nachweis kleiner Stärkemengen. Zeitschr. f. wissensch. Mikroskopie, Bd. III, 1886.

Digitized by Google

III. Der Zellsaft.

Der bald sauer bald alkalisch reagirende Zellsaft bildet eine wässerige Flüssigkeit, in welcher verschiedene, organische sowohl als unorganische Verbindungen gelöst vorkommen, die je nach der Function der betreffenden Zellenart wechseln, so dass nur eine oder die andere für sich oder auch mehrere neben einander auftreten können.

Von den ersteren sind namentlich die Kohlehydrate: Inulin, Rohr- und Traubenzucker, Dextrin, Gummi und Schleim, ferner die Gerbstoffe und das Asparagin, von den anderen Nitrate und Nitrite durch mikrochemische Reaction nachweisbar, während sich die verschiedenen Arten der Pflanzensäuren u. s. w. derselben entziehen, die gelösten Farbstoffe aber, welche durch ihren mehr zu Roth oder Blau neigenden Farbenton meist auch über die saure oder alkalische Beschaffenheit des Zellsaftes Aufschluss geben, ohne weitere Reaction hervortreten.

Um die Bestandtheile des Zellsaftes zu untersuchen, bedarf man etwas dickerer — etwa zwei bis drei Zellenlagen dicke — Schnitte, als bei den übrigen Beobachtungen, weil es unbedingt nothwendig ist, dass man zum mindesten eine Zellenlage in unverletztem Zustande erhält.

1. Kohlehydrate.

Inulin. — Das Inulin ($C_{12}H_{20}O_{10}$) findet man, soweit bis jetzt bekannt, fast nur in einer einzigen Pflanzenfamilie, in den Compositen, verbreitet, und zwar trifft man es am häufigsten in den Wurzeln (Löwenzahn, Sonnenblume, Dahlie u. s. w.), seltener im Stengel an. Dasselbe kommt in den lebenden Zellen nur gelöst vor, erscheint aber in den todten Zellen oder nach dem Trocknen in Form von kleinen Körnern. Man erhält es durch Schaben des Wurzelgewebes und längeres Absetzenlassen der erhaltenen Masse in Wasser als kleinkörnigen Niederschlag. Auf dem, unverletzte und durchschnittene Zellen enthaltenden, mit Wasser befeuchteten Pflanzenschnitt ist das Inulin in Lösung und innerhalb der ersteren kaum an seiner etwas stärker lichtbrechenden Eigenschaft zu erkennen. Ebenso sind auch die frei im Wasser vertheilten Niederschlagskörner nur schwer zu sehen. Um sie sichtbar zu machen, erfordert es einen Zusatz von Jodlösung oder noch besser von Jodglycerin, welche ihnen eine gelbe Färbung ertheilen.

Zum mikroskopischen Nachweise des Inulins eignen sich am besten die durch Schacht und Sachs bekannt gemachten Behandlungsweisen der inulinhaltigen Gewebe. Taucht man einen frischen Schnitt aus dem Wurzelparenchym von *Dahlia*, *Inula*, *Helianthus tuberosus* oder *Taraxum officinale* in absoluten Alkohol, so schlägt sich das Inulin in Form von grösseren oder kleineren Körnern nieder, die häufig ein schaumiges,

Digitized by Google

vacuolenartiges Aussehen zeigen (Fig. 47, I a). Ein längeres, 5 bis 10 Minuten dauerndes Verweilen der Schnitte bewirkt eine Vereinigung der kleinen Körnchen zu grösseren, isolirten, kugeligen, oder zu an der Zellwand festsitzenden, oft traubig gruppirten, halbkugeligen oder

Fig. 47.

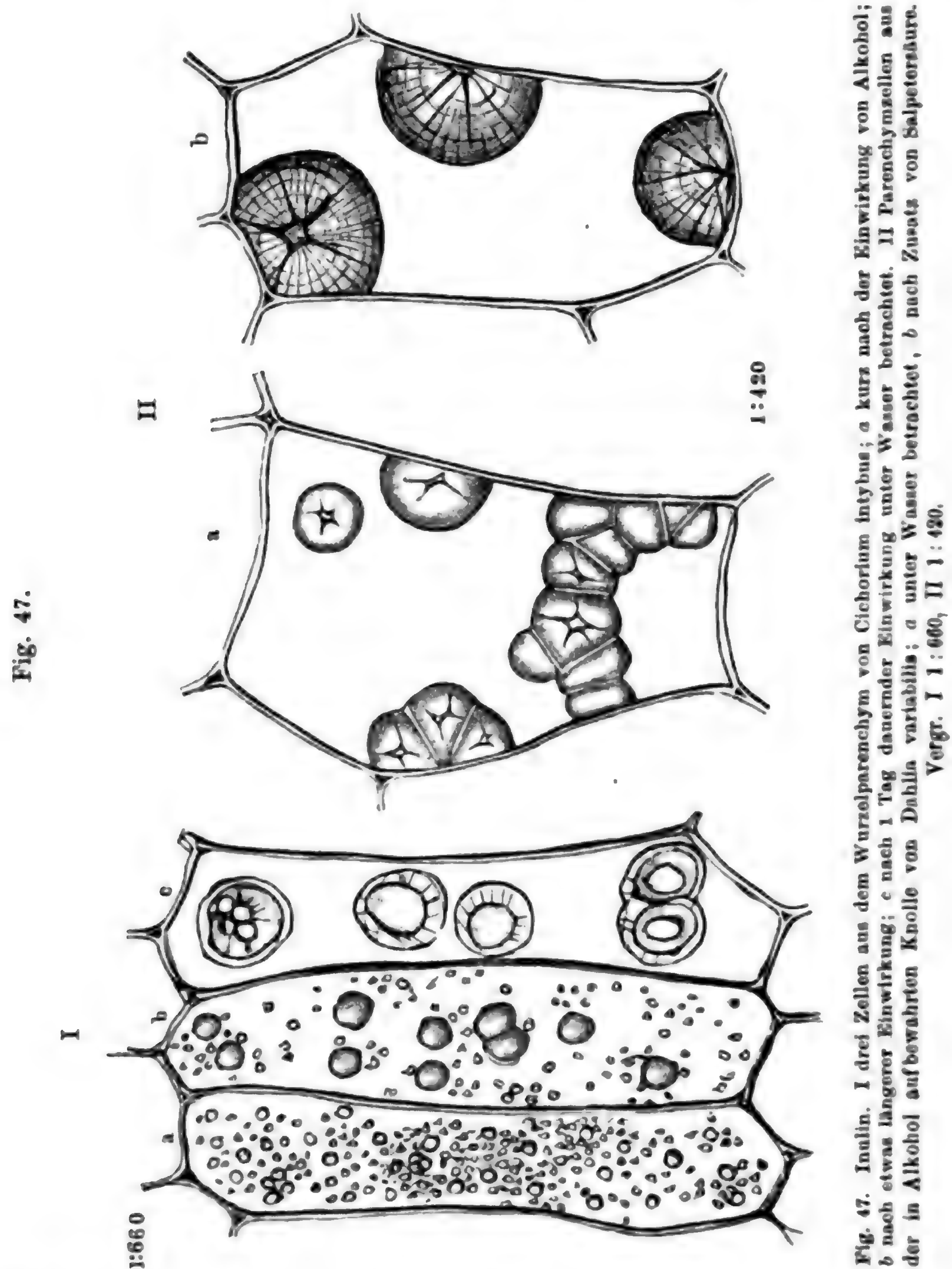


Fig. 47. Inulin. I drei Zellen aus dem Wurzelparenchym von Cichorium Intybus; *a* kurz nach der Einwirkung von Alkohol; *b* nach etwas längerer Einwirkung; *c* nach 1 Tag dauernder Einwirkung unter Wasser betrachtet. II Parenchymzellen aus der in Alkohol aufbewahrten Knolle von Dahlia variabilis; *a* unter Wasser betrachtet, *b* nach Zusatz von Salpetersäure. Vergr. I 1:660, II 1:420.

scheibenförmigen Körpern, welche von Sachs als Sphärokrystalle, von Strassburger als Sphärite bezeichnet wurden (Fig. 47, I, II a u. b), die man unter Wasser betrachtet als von radial verlaufenden feinen Rissen durchsetzt, hier und da wohl auch, namentlich nach Zusatz von etwas

Digitized by Google

Salpetersäure zu dem Wasser, in dem man beobachtet, als concentrisch geschichtet erkennt (Fig. 47, I c und II b). Die schönsten, sowohl vereinzelt vorkommenden, als gruppirten Sphärokrystalle erhält man dann, wenn man grössere Gewebestücke tage- oder wochenlang in Alkohol oder Glycerin verweilen lässt, und dann von diesen nicht zu feine Schnitte nimmt (Fig. 47, II a und b).

Die Sphärokrystalle sind, wenn sie kürzere Zeit nach ihrer Entstehung beobachtet werden, noch in Wasser löslich und gehen erst durch längeres (jahrelanges) Verweilen in Alkohol in einen unlöslichen Zustand über.

Giebt man zu einem Sphärokrystalle enthaltenden Schnitte die Mohlisch'sche 10proc. alkoholische Lösung von α-Naphtalin, setzt dann einige Tropfen concentrirter Schwefelsäure zu und erwärmt unter Deckglas, so lösen sich erstere unter tiefer Violettfärbung, während, wenn man Thymol in gleicher Weise anwendet, Rothfärbung eintritt. Werden ferner inulinhaltige Schnitte mit alkoholischer Orcin- oder Phloroglucinlösung behandelt und kocht man dieselben in Salzsäure, dann entsteht im einen Falle eine tief orangerothe, im anderen eine bräunliche Färbung. Waren Sphärokrystalle vorhanden, dann werden diese gelöst, und der von ihnen eingenommene Raum erscheint gefärbt.

Ausser den Inulinsphärokrystallen treten nach der Behandlung mit Alkohol in den Dahliaknollen nach Leitgeb auch noch Sphärokrystalle von Calciumphosphat auf, welche sich von jenen schon dadurch unterscheiden lassen, dass sie in dem Beobachtungswasser allmälig, und wenn dasselbe mit Salpetersäure angesäuert war, sofort gelöst werden. Dieselben sind entweder ungeschichtet, ohne deutlichen Kern, und färben sich dann durch ihre ganze Masse in Folge eingelagerter organischer Stoffe mit Carmin und Methylenblau, oder sie lassen einen amorphen organischen, sich färbenden Kern und eine aus Krystallnadeln gebildete, sich nicht färbende Schale erkennen. Concentrirte Schwefelsäure, dem Beobachtungswasser zugesetzt, bräunt diese Körper und löst sie unter Anschiessen von Gypsnadeln auf, was das Vorhandensein von Kalk beweist. Die Phosphorsäure kann dagegen durch mit etwas Salpetersäure angesäuertes, molybdänsaures Ammoniak nachgewiesen werden, wenn man Schnitte in der Lösung auf dem Objectträger, ohne bis zum Kochen zu erhitzen, erwärmt. Es entsteht dann ein gelber Niederschlag aus phosphormolybdänsaurem Ammoniak, welcher aus den für diese Verbindung charakteristischen regulären, mannigfach mit einander verwachsenen Dodekaëdern gebildet wird.

Gleiche Gebilde erzeugen sich auch in den in Alkohol aufbewahrten Geweben der fleischigen, tropischen Euphorbiaceen. Auch sonst entstehen bei gewissen Aufbewahrungsweisen häufig Sphärokrystalle; so fand ich solche u. a. an in Chlorcalcium aufbewahrten Schnitten von *Abies pectinata* in prachtvoller Ausbildung und entstammten dieselben, wenn sie nicht dem Calciumphosphat angehörten, möglicherweise einer harzsauren Verbindung des Kalkes.

Digitized by Google

In polarisirtem Lichte zeigen die Inulinsphärokrystalle — ebenso aber auch die des Calciumphosphats — das unter 90° und 180° dahin gehende dunkle Kreuz (Fig. 48) und bei Einschaltung eines Gypsplättchens Roth erster Ordnung, unter + 45° Additions-, unter — 45° Subtractionsfarben (Fig. X). Sie erweisen sich also von gleichem optischen Charakter wie die Stärkekörner.

Fig. 48.

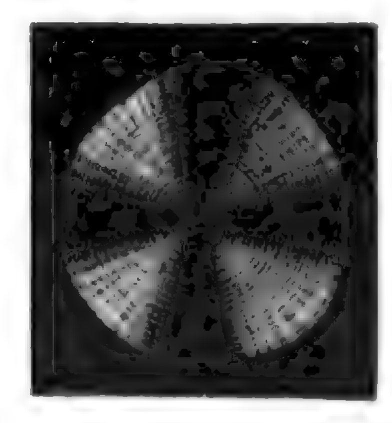


Fig. 48. Inulinscheibe aus Helianthus tuberosus, durch mehrmonatliches Liegen von Wurzelstücken in Alkohol hervorgebracht. Vergr. 1:500.

Meyen: Neues System der Pflanzenphysiologie. Bd. II.

Payen: Annales d. sc. nat. Bot. T. XIV, Août 1840.

Mulder: Versuch einer allgemeinen physiologischen Chemie. Braunschweig 1851.

Schleiden: Unger, Schacht in den mehrfach citirten Werken.

Schacht: Ueber die mikroskopische Nachweisung des Inulins. Sitzungsbericht der physikalischen Section der Niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde vom 9. November 1863.

J. Sachs: Ebendaselbst. — Ueber die Sphärokrystalle des Inulins und dessen mikroskopische Nachweisung in den Zellen. Bot. Zeitung 1864.

Prantl: Das Inulin. München 1870.

G. Kraus: Ueber eigenthümliche Sphärokrystalle in der Epidermis von Cocculus laurifolius. Pringsheim's Jahrbücher, Bd. VIII, 1872.

J. Hansen: Ueber Sphärokrystalle. In: Arb. d. bot. Inst. zu Würzburg. Bd. III, Heft 1, 1884.

Leitgeb: Ueber die durch Alkohol in den Dahliaknollen hervorgerufenen Ausscheidungen. Bot. Zeitung 1887.

Molisch: Grundriss einer Hystochemie der pflanzlichen Genussmittel. 1891.

Rohr- und Traubenzucker, Dextrin, Gummi und Schleim. — Als das geeignetste Mittel für den Nachweis und die Unterscheidung dieser Kohlehydrate sowie für das Studium ihrer Vertheilung in den Pflanzengeweben hat sich bis jetzt das von Sachs empfohlene Trommer'sche Reagens: Schwefelsaures Kupferoxyd und Aetzkali oder die Fehling-Boedecker'sche Lösung (3,5 g reines schwefelsaures Kupferoxyd in 20 g destillirtem Wasser gelöst, diese Lösung zu einer zweiten von 1,7 g weinsaurem Kalinatron in 48 ccm Natronlauge von 1,14 spec. Gew. gegeben und die Mischung auf 100 ccm verdünnt) erwiesen.

Traubenzucker (Glykose $C_6H_{12}O_6$) und Rohrzucker (Saccharose $C_{12}H_{22}O_{11}$) lassen sich mittelst dieser Reagentien leicht von einander unterscheiden. Verwendet man das Trommer'sche, dann legt man den Schnitt einige Zeit in eine gesättigte Lösung des schwefelsauren Kupferoxyds, schwenkt sorgfältig in destillirtem Wasser ab, um alles mechanisch anhängende Salz zu entfernen und taucht dann mittelst der Pincette in ein Schälchen mit bis zum Sieden erhitzter concentrirter Kalilauge (1 Thl. Kalihydrat auf 1 Thl. Wasser) oder (nach Meyer) einer Lösung von

Digitized by Google

10 g Seignettesalz und 10 g Kalihydrat in 10 ccm Wasser. War reducirender Traubenzucker vorhanden, wie es z. B. in einem Schnitte durch das Fruchtfleisch der Birne der Fall ist, dann bildet sich fast sofort — nach 2 bis 3 Secunden — ein hochrother Niederschlag von Kupferoxydul, welcher sich unter dem Mikroskop — man beobachtet am besten in Kalilauge — in Form von grösseren, sich wiederum zu umfänglichen Flocken vereinigten Körnern darstellt. Enthält der Schnitt, z. B. ein solcher aus der Wurzel der Zuckerrübe, Rohrzucker, so unterbleibt dieser Niederschlag und der Zellsaft zeigt eine himmelblaue Färbung. Nach längerer Einwirkung der heissen Kalilauge erfolgt dann auch hier ein rother Niederschlag, indem der Rohrzucker durch die Wirkung des Alkalis in Traubenzucker übergeführt (invertirt) wird; allein gerade die Länge der Zeit, während welcher die höhere Temperatur einzuwirken hat, um die Reduction zu bewirken, giebt ein gutes Unterscheidungsmerkmal an die Hand. Benutzt man die zweite Lösung, dann bringt man diese zum Sieden und taucht den Schnitt wie oben nur kurze Zeit — etwa zwei Secunden — in dieselbe ein. Je nach dem Vorhandensein der beiden Zuckerarten wird sich dann die eine oder die andere der beiden Reactionen einstellen. Noch sicherere Resultate gewährt das von A. Meyer abgeänderte Verfahren, wobei der Niederschlag von Kupferoxyd, der bei den vorigen etwa eintreten konnte, vermieden wird. Hiernach bringt man die der Kupfervitriollösung entnommenen, schnell in Wasser abgeschwenkten Schnitte in eine siedende Lösung von 10 g weinsaurem Kalinatron und 10 g Aetzkali in 10 g Wasser.

Weniger leicht ist die Unterscheidung von Dextrin ($C_6H_{10}O_5$) — wenn dieses überhaupt in nachweisbarer Menge vorkommt, was in neuester Zeit bezweifelt wird — und Traubenzucker, da beide während des Kochens in dem Aetzkali gelbrothe bis ziegelrothe Niederschläge geben, die sich, obgleich derjenige des ersteren aus kleineren Körnchen besteht, welche manchmal lebhafte Molecularbewegung zeigen und nicht zur Flockenbildung neigen, nur schwierig von einander unterscheiden lassen, zumal wenn beide Stoffe neben einander vorkommen sollten. Zur Unterscheidung, beziehentlich Trennung beider genügt dann nach Sachs die Behandlung der betreffenden Schnitte mit 90- bis 95 proc. Weingeist, welcher nach 10- bis 24stündiger Einwirkung den Traubenzucker, nicht aber das Dextrin auszieht. Werden neue Schnitte solcher Pflanzengewebe, welche Kupferoxydulniederschläge ergaben, nach der Behandlung mit Alkohol geprüft und es erfolgt ein rother Niederschlag, so ist man berechtigt, auf das Vorhandensein von Dextrin zu schliessen, während dessen Ausbleiben die Gegenwart von Traubenzucker anzeigt. Gleich gute Dienste soll die Barford'sche Methode der Unterscheidung mittelst essigsauren Kupferoxyds leisten. Man verwendet dabei eine Lösung von einem Theil krystallisirten, neutralen essigsauren Kupferoxyds in 15 Theilen Wasser, der man auf je 200 ccm 5 ccm 38proc. Essigsäure zugesetzt hat. Kocht man in wenigen Tropfen dieser Lösung den

Digitized by Google

Schnitt eines betreffenden Gewebes ganz kurze Zeit auf, so erscheint, wenn Traubenzucker vorhanden ist, ein rother Niederschlag, während Dextrin keine Einwirkung auf das Kupfersalz zeigt.

Gummi, $C_6H_{10}O_5$, falls sich dasselbe in den Zellen in Lösung befindet, kann mittelst der Trommer'schen Methode nachgewiesen werden, indem es einen kräftigblauen, flockigen Niederschlag giebt, welcher sich beim Kochen weder auflöst noch schwärzt, sondern in grösseren Klumpen zusammenballt. Um denselben von einem ähnlichen, durch Vorhandensein von Stärke hervorgerufenen Niederschlag zu unterscheiden, neutralisirt man das Kali durch Essigsäure und fügt Jodlösung hinzu. Rührt der Niederschlag von Stärke her, so quellen die zusammengeballten Klumpen auf und nehmen die tiefblaue Färbung der Jodstärke an.

Schleim. Der Schleim (Bassorin und nach Szyszylowicz auch ein Gemenge, auch Schleim und Gummi, welches er als Gummischleim bezeichnet) kommt als Inhaltsbestandtheil der Zellen theils in gewissen unterirdischen (Zwiebeln, Knollen der Orchisarten, Wurzelstock von Symphytum officinale, Triticum repens), theils in manchen oberirdischen (Aloe und anderen Succulenten, Blattstiele von Tussilago Farfara) Pflanzentheilen, und zwar meist gelöst, selten in Form von Körnchen im Zellsaft vor. In einer Lösung von Bleiacetat, mit der man am besten die betreffenden Objecte zur Beobachtung umhüllt, bleibt er unverändert oder wird gehärtet, während er sich in Alkohol zu einem die Zelle meist nicht mehr ganz erfüllenden Klumpen zusammenzieht. Gegen Chlorzinkjod, Jod und Schwefelsäure verhält er sich verschieden, indem ihn diese Reagentien theils blau färben, theils ungefärbt lassen. Kupfersulfat und Kali wirken ähnlich, wie bei Gummi. Ein vorzügliches Reagenz bildet das (hierzu in Bleiacetat gelöste) Rutheniumroth, welches den Schleim der Zellen der schleimführenden Gewebe von Symphytum, Tussilago, Aloe u. s. w. lebhaft bis dunkelcarminroth (Fig. XIII), dagegen derer der Orchisknollen nicht färbt und insofern die Pectoseschleime (Mangin) (Gummischleime, Szyszylowicz?) von den Zellstoffschleimen (Mangin) (Stärkeschleimen Szyszylowicz?) unterscheiden lässt. Neutralroth (hier in spirituöser Lösung angewandt) färbt die Pectinschleime orangeroth. Auch mittelst der von Szyszylowicz empfohlenen Färbung mit Corallin können beide Schleimarten — wenn auch nicht so scharf — unterschieden werden. Der „Stärkeschleim" wird tiefer und dauerhaft, selbst durch kochenden Alkohol die Färbung nicht verlierend, gefärbt, während der „Cellulose- und Gummischleim" schwächer gefärbt und die Farbe schon durch kalten, leichter noch durch heissen Alkohol ausgezogen wird. Zu den Färbungen, von denen sich die mittelst Rutheniumroth, sowie jene der von Szyszylowicz als Stärkeschleime bezeichneten Schleime durch Corallin in Canadabalsam gut halten, geeignete Schnitte erhält man an zunächst in Bleiacetat und nach oberflächlichem Abtrocknen in absolutem Alkohol gehärteten Stückchen der betreffenden Pflanzentheile.

Digitized by Google

J. Sachs: Ueber einige neue mikroskopisch-chemische Reactionsmethoden. Sep.-Abdr. aus den Sitzungsberichten der kaiserl. Akademie. Wien 1859. — Ueber die Stoffe, welche das Material zum Wachsthum der Zellhäute liefern. Pringsheim's Jahrbücher. Bd. III, Heft 2. Berlin 1862. — Mikrochemische Reactionen. Flora 1862.

Sachsse: Chemie und Physiologie der Farbstoffe, Kohlenhydrate und Proteinsubstanzen. Leipzig 1877.

Heinricher: Die Bestimmung reducirenden Zuckers neben Rohrzucker in phytochemischen Untersuchungen; herausgegeben von Sachsse; Heft I. Leipzig 1880.

Szyszylowicz: Corallin als mikrochemisches Reagenz in der Pflanzenhistologie. Bot. Centralbl., Bd. XII, S. 138, 1882.

A. Meyer: Mikrochemische Reaction zum Nachweis der reducirenden Zuckerarten. Berichte der bot. Gesellsch. 1885.

Fischer: Beiträge zur Physiologie der Holzgewächse. Pringsh. Jahrb., Bd. XXII, 1890.

Molisch: a. a. O.

Mangin: a. a. O.

2. Gerbstoffe.

Die Gerbstoffe besitzen eine ziemlich weite Verbreitung und erscheinen namentlich in der Rinde und den jungen Bast- und Halstheilen der Gefässbündel, seltener in dem Marke von Holzpflanzen und ausdauernden Gewächsen, besonders aus den Reihen der Amentaceen, Leguminosen, Rosifloren, Polygoninen sowie mancher Monokotyledonen (*Acorus*, *Iris* etc.). In der Regel finden sie sich in Form von Lösungen, seltener, wie z. B. in manchen Grünalgen, besonders aus der Familie der Conjugaten, in gewissen Zellen des Stengels und der Wurzel von Weidenarten, bei Desmanthus, von, bei den ersteren in grosser Menge vorhandenen kleinen, bei den anderen meist einzeln oder zu wenigen und von beträchtlicher Grösse vorkommenden, tropfen- oder bläschenartigen Gebilden: Gerbstoffkugeln, Gerbstoffblasen (Fig. 49).

Fig. 49.

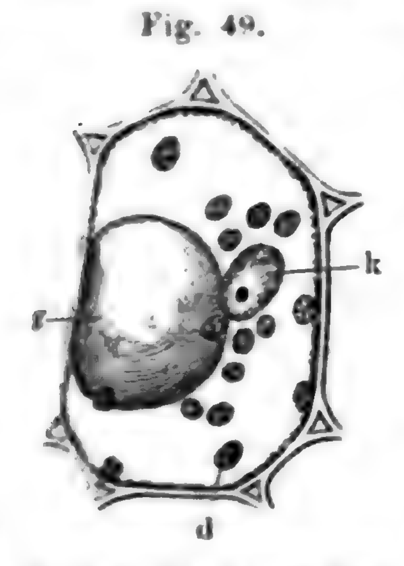


Fig. 49. Zelle aus dem Blattstielgelenk von Desmanthus lacus. g Gerbstoffblase, k Zellkern, d Chlorophyllkörner (nach Zimmermann).

Eines der am frühesten angewendeten Mittel zum Nachweise dieser, unter dem obigen Namen zusammengefassten, nach Nickel (Naturwissensch. Zeitschr. 1889, S. 309) als oxyaromatische Verbindungen aufzufassenden, nach Crato zu den Phenolen zu rechnenden, aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehenden, in verschiedenen, chemisch zur Zeit noch nicht alle vollkommen festgestellten Modificationen auftretenden, eisenschwärzenden Kohlenstoffverbindungen bilden die Eisensalze, und unter diesen namentlich Eisenchlorid (wasserfreies, in wasserfreiem Aether gelöst, nach Möller), Eisensulfat (gesättigte wässerige Lösung) und Eisenacetat (die officinelle Tinctura ferri acetici). Diese Reagentien rufen in gerbstoffhaltigen Zellen, je nachdem

Digitized by Google

sogenannte eisenbläuende oder eisengrünende Gerbstoffe vorhanden sind, schwarzblaue bis schwarzgrüne Niederschläge hervor, deren Farbe namentlich in auffallendem Lichte deutlich erkannt wird, während sie sich im durchfallenden Lichte nur durch die Undurchsichtigkeit ihrer Körner zu erkennen geben. Für Beobachtung im durchfallenden Lichte eignet sich daher die Verwendung von Kalilauge oder Chlorzinkjodlösung besser. Die durch die erstere unter Luftzutritt hervorgerufenen Oxydationsproducte bilden nämlich gelbroth bis braunroth gefärbte Verbindungen, welche eine so kräftige Farbe besitzen, dass diese selbst in sehr dünnen Schichten und auch dann, wenn die Zellen nur wenig Gerbstoff enthalten, noch bei stärkeren Vergrösserungen deutlich erkennbar ist. Die zweite ertheilt den Gerbstoffen eine ziegelrothe, rosenrothe bis violettrothe Färbung und zeigt noch sehr geringe Mengen derselben an, ist also für gewisse Fälle immerhin zu empfehlen.

Alle diese und einige andere in neuerer Zeit empfohlenen Reagentien haben indessen — abgesehen davon, dass einige auch mit anderen Verbindungen ähnliche Färbungen geben — gewisse Nachtheile, indem sie das Urtheil über die Vertheilung der Gerbstoffe in den einzelnen Zellen unsicher machen. Die mittelst derselben in gerbstoffhaltigem Zellsafte hervorgerufenen Verbindungen, beziehungsweise in dem Beobachtungswasser löslichen Niederschläge, sind nämlich derart beschaffen, dass sie aus den durch den Schnitt geöffneten Zellen ausfliessen oder durch die Wände der geschlossenen diffundiren und sich in Folge dessen über benachbarte gerbstofffreie Zellen verbreiten. Hierdurch wird es dann unmöglich, einen genauen Nachweis über die Verbreitung der fraglichen Verbindungen in den verschiedenen Gewebeelementen zu führen. Sichere Resultate gewähren dagegen einige andere Reagentien, indem die durch deren Einwirkung hervorgerufenen Verbindungen neben einer kräftigen Färbung auch eine solche Dichtheit besitzen, dass eine Verunreinigung der benachbarten Gewebetheile bei geeigneter Behandlung nicht zu fürchten ist.

Die von Sanio empfohlene Lösung von Kaliumbichromat, welche jedoch nach Nickel auch auf einige andere Verbindungen ähnlich wirken soll, bildet mit den Gerbstoffen dichte, im durchfallenden Lichte kräftig rothbraun gefärbte Niederschläge, darf aber selbstverständlich auch nicht auf in Wasser liegende Schnitte angewendet werden, weil sich sonst die in diesem löslichen Gerbstoffe über davon freie Zellen verbreiten, vermöge der Osmose selbst in die Zellwandungen eindringen und Täuschungen veranlassen könnten. Pflanzentheile, welche man auf Gerbstoffe und deren Verbreitung untersuchen will, bringt man am zweckmässigsten in nicht zu grossen, vorher etwas abgetrockneten Stückchen in eine mässig concentrirte Lösung des Reagenzes, lässt sie darin etwa sieben bis acht Tage liegen und fertigt davon nach raschem Abwaschen Quer- und Längsschnitte an. Hierbei hat man aber die Vorsichtsmaassregel anzuwenden, dass man vor Anfertigung der zur Untersuchung bestimmten

Digitized by Google

Schnitte die freien End- und Schnittflächen des durchtränkten Pflanzentheiles durch einen tiefen Schnitt wegnimmt, weil auf denselben der bei dem früheren Durchschneiden ausgetretene Gerbstoff sich ausgebreitet haben könnte und das Resultat der Beobachtung trüben würde.

In ähnlicher Weise wirkt die von Moll empfohlene gesättigte Lösung (7 Proc.) von Kupferacetat. Von den lebend in dieselbe gebrachten und etwa 8 bis 10 Tage (ohne Schaden auch länger) darin behaltenen, kleinen Pflanzenabschnitten werden unter gleichen Vorsichtsmaassregeln wie oben Schnitte angefertigt, einige Minuten in einen Tropfen einer 0,5 proc. Lösung von Eisenacetat gebracht (bei längerer Einwirkung würden sich die Zellwände braun färben), in Wasser abgespült, dann zur Entfernung der Luft und des Chlorophyllfarbstoffes in einem Uhrglase einige Zeit mit Alkohol behandelt und unter Glycerin untersucht. Zur Herstellung von Dauerpräparaten legt man die Schnitte in Glyceringelatine. Die dem Kupferacetat entnommenen Pflanzenstückchen lassen sich auch in Alkohol aufbewahren und können später mittelst des Eisensalzes untersucht werden. Hervorzuheben bleibt noch, dass bei dieser Methode auch der Unterschied zwischen eisenbläuenden und eisengrünenden Gerbstoffen sehr deutlich hervortritt. So werden z. B. in den Zweigen der Buche die gerbstoffführenden Zellen der Rinde grün, die des Markes blau.

Kalium-, Natrium- und Ammoniumcarbonat in 1- bis 5 proc. Lösungen rufen in gerbstoffhaltigen Zellen kugel- oder stäbchenförmige Niederschläge hervor, welche nach längerem Verweilen in der Flüssigkeit in Wasser unlöslich werden. Man verfährt hier ähnlich wie bei der Anwendung von Kaliumbichromat oder lässt die zu untersuchenden Pflanzen einige Zeit in etwa 0,02 proc. Lösungen wachsen.

Zum Nachweis der Gerbstoffe in lebendigen Zellen, und zwar sowohl in Form von Lösung als von Gerbstoffkugeln oder Gerbstoffblasen, verwendet man die von Pfeffer empfohlene Lebendfärbung mittelst einer höchst verdünnten Lösung von Methylenblau (1 Thl. in 500 000 Thln. filtrirtem Regenwasser). Belässt man die betreffenden Objecte 1 bis 24 Stunden in grossen Mengen der Flüssigkeit, dann färben sich die geformten Gerbstoffe sowie gerbstoffhaltiger Zellsaft blau und später treten unter Entfärbung des Zellsaftes innerhalb des letzteren ähnlich gefärbte Niederschläge verschiedener Gestalt auf. Da das Methylenblau jedoch in gleicher Weise auf das häufig in Verbindung mit Gerbstoffen vorkommende Phloroglucin wirkt, so bedarf es zur Feststellung, ob wir es mit Gerbstoffen zu thun haben, eines Controllversuches mittelst Vanilin-Salzsäuregemisches (0,005 g Vanilin in 0,5 g Spiritus gelöst, dann 0,5 g Wasser und 3 g concentr. Salzsäure zugesetzt). Bewirkt letzteres keine Umfärbung, dann können wir auf das Vorhandensein der letzteren schliessen.

Sanio: Einige Bemerkungen über den Bau des Holzes. V. Gerbstoff im Holze u. s. w. Bot. Zeitung 1860. — Einige Bemerkungen über den Gerbstoff und seine Verbreitung bei den Holzpflanzen. Bot. Zeitung 1863.

Digitized by Google

Wigand: Einige Sätze über das Verhalten des Gerbstoffes und der Pflanzenfarbe. Bot. Zeitung 1862.

Th. Hartig: Das Gerbmehl und weitere Mittheilungen, das Gerbmehl betreffend. Bot. Zeitung 1865.

Pringsheim: Ueber Lichtwirkung und Chlorophyllfunction a. a. O.

Moll: Eene neuwe mikrochemische looizuurreactie in Moandblad voor Natuurwetenschappen 1884. (Siehe auch Bot. Centralbl., Bd. 24, 1885.)

Berthold: Studien u. s. w. (unter Zellsaft).

Pfeffer: Aufnahme von Anilinfarbe u. s. w., a. a. O.

Möller: Anatomische Untersuchungen über das Vorkommen der Gerbsäure. Ber. d. bot. Gesellsch. 1888.

Klencker: Studien über die Gerbstoffvacuolen. Inauguraldissertation 1888.

Reinitzer: Bemerkungen zur Physiologie der Gerbstoffe. Ber. d. bot. Gesellsch. 1889.

Nickel: Die Farbenreactionen der Kohlenstoffverbindungen 1890.

Gardiner: The determination of Tannin in vegetable cells. Ref. Zeitschr. f. wissensch. Mikroskopie, Bd. I, 1884.

Braemer: Un nouveau reactiv histo-chimique des tannins. Ref. in Zeitschrift f. wissensch. Mikroskopie, Bd. VI, 1890.

3. Phloroglucin.

Das Phloroglucin, $C_6H_3(OH)_3$, kommt wohl nur in jugendlichen Zellen und wohl auch oft im Vereine mit Gerbstoffen im Zellsaft gelöst vor. Wie neuerdings Waage nachgewiesen hat, besitzt dasselbe, namentlich bei den Gymnospermen und Dikotyledonen, eine sehr weite Verbreitung. Besonders reich daran sind verschiedene Prunus-, Tilia-, Aesculus- und Platanusarten. Zum mikrochemischen Nachweis dient als sicherstes mikrochemisches Reagenz das eben besprochene Lindt'sche Vanilin-Salzsäuregemisch, welches dem Phloroglucin eine anfangs hell-, später kirschrothe Färbung ertheilt, durch welches noch fast verschwindende Mengen (nach Lindt 0,000001 g) zur Anschauung gebracht werden können. Die Anwendung des Reagenzes geschieht derart, dass man dasselbe auf möglichst von anhängendem Wasser befreite oder getrocknete Schnitte einwirken lässt, weil durch letzteres die Reaction beeinträchtigt wird. Durch Methylenblaulösung wird das Phloroglucin ähnlich wie die Gerbstoffe gefärbt. Es lässt sich aber, wie bereits erwähnt, leicht dadurch von diesen unterscheiden, dass die betreffenden Präparate durch Vanilin-Salzsäure in Roth umgefärbt werden können, wenn ersteres vorhanden ist.

Weinzierl: Ueber die Verbreitung des Phloroglucins im Pflanzenreiche. Oestr. bot. Zeitschr. 1876, S. 285.

Lindt: Ueber den Nachweis von Phloroglucin. Zeitschr. f. wissensch. Mikroskopie, Bd. II, S. 495, 1885.

Waage: Ueber das Vorkommen u. s. w. des Phloroglucins in der Pflanze. Ber. d. bot. Gesellsch., Bd. VIII, S. 250, 1890.

4. Asparagin und Tyrosin.

Das Asparagin, $CO_2H.C_2H_3NH_2.CONH_2$, welches von Th. Hartig entdeckt und als Gleiss bezeichnet wurde, besitzt eine weite Ver-

Digitized by Google

breitung. Es findet sich in Stengeltheilen, Wurzelknollen, Früchten und Samen, sowie im Milchsafte, z. B. in den Sprossen des Hopfens, der Linde, Eiche, des Flieders und Hollunders, in Wurzeln und Stengeln vom Spargel, der Maiblume, ferner in Keim, Wurzel und Samen vieler Papilionaceen u. s. w.

Zum mikroskopischen Nachweis dieses Stoffes dient absoluter Alkohol (Borodin) und eignen sich als Untersuchungsobjecte besonders gut Hopfensprossen, vergilbte, d. h. im Dunkeln erwachsene Keimpflanzen von *Lupinus luteus*, vergilbte Dahliasprosse, sowie junge Spargeln. Die mehrere Zelllagen dicken Schnitte schwenkt man entweder in einem Uhrglase mit Alkohol schnell um, oder giebt ihnen auf dem Objectträger einige Tropfen Alkohol zu, bringt das Deckglas auf und lässt eintrocknen, worauf das Asparagin an beiden Gläsern in Form von verschieden grossen, einen stumpfen Winkel von 129° 18′ zeigenden (ich fand jedoch auch einzelne Tafeln mit Winkel von 115°), rhombischen Tafeln und dendritischen und sternförmigen Gebilden anschiesst (Fig. 50). Um dasselbe von anderen gleichzeitig mit ihm auskrystallisirenden Stoffen, z. B. von den in ähnlichen, aber einen stumpfen Winkel von 99° 44′ zeigenden und somit bei einiger Grösse schon leicht zu erkennenden Salpeterkrystallen zu unterscheiden, kann man nach Borodin zwei Wege einschlagen. Erstens: Erwärmt man auf 100° C., so verliert das Asparagin sein Krystallwasser und jeder Krystall verwandelt sich in ein stark lichtbrechendes, ölähnliches, helles Tröpfchen, welches sich leicht in Wasser löst. Weiteres Erhitzen bis auf 200° C. bewirkt Zersetzung und es entstehen braune, meist in Folge von auftretenden Gasblasen schäumende Tropfen, welche in Wasser unlöslich sind. Zweitens: Fügt man den nach Verdunsten des Alkohols entstandenen Krystallen etwas von einer im Erkalten begriffenen, vor Kurzem erwärmten, gesättigten Asparaginlösung zu, so dass die letztere nicht kälter ist als das Object selbst, dann lösen sich in derselben alle fremdartigen Krystalle ebenso wie in Wasser, während die Asparaginkrystalle unverändert bleiben oder an Grösse zunehmen. Nach C. O. Müller kann zur Unterscheidung von Asparagin und Kaliumnitrat auch eine Diphenylaminlösung benutzt werden, welche die Krystalle des ersteren ohne Färbung, die des letzteren unter tief blauer Färbung löst.

Fig. 50.

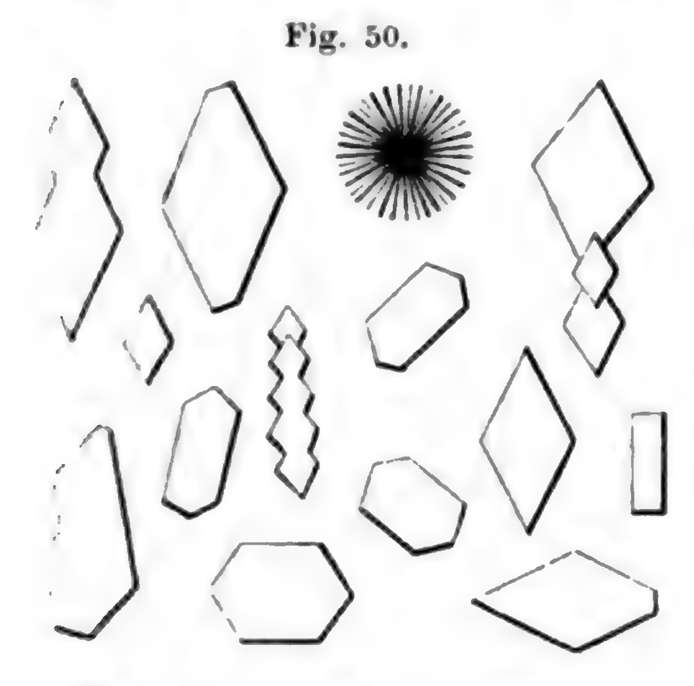


Fig. 50. Verschiedene Krystallformen des Asparagins. Vergr. 1 : 240.

Digitized by Google

Im polarisirten Lichte treten die Asparaginkrystalle in dem dunklen Sehfelde, je nach ihrer Dicke, hellleuchtend weiss oder farbig schillernd hervor und es kann so auch da, wo das Asparagin nur in geringer Menge vorhanden ist, dessen Dasein bekundet werden.

Das Tyrosin, $C_9H_{11}NO_3$, wurde von Borodin in verschiedenen Pflanzentheilen neben Asparagin, von Leitgeb bei Dahlia variabilis neben Inulin aufgefunden. Behandelt man Schnitte wie bei dem Asparagin angegeben, so krystallisirt das Tyrosin in stark doppelbrechenden, dendritisch oder büschel- und sternförmig gruppirten Nadeln aus. Aus den Knollen von Dahlia erhält man dasselbe nach dem letzteren, wenn man quer durchschnittene Knollen mit der Schnittfläche nach oben in ein cylindrisches Gefäss bringt und dasselbe soweit mit Alkohol füllt, dass noch wenigstens $^1/_3$ des Objectes aus demselben herausragt. Das Tyrosin krystallisirt dann meist schon nach einigen Tagen an der Schnittfläche aus.

Zur Unterscheidung von ähnlichen Gebilden des Asparagins dient die satte Rothfärbung mittelst des Millon'schen Reagenzes.

Pfeffer: Untersuchungen über die Proteïnkörner u. s. w., S. 530, und Pflanzenphysiologie, Bd. I, S. 59, 1881.

Borodin: 1. Ueber die physiologische Rolle und die Verbreitung des Asparagins im Pflanzenreiche. Bot. Zeitung 1878. 2. Ueber einige bei Behandlung von Pflanzenschnitten mit Alkohol erhaltene Niederschläge. Sitzungsber. der bot. Sect. der St. Petersburger naturf. Gesellsch. 1881. (Bot. Zeitung 1882, S. 589.)

C. O. Müller: Ein Beitrag zur Kenntniss der Eiweissbildung in der Pflanze. Inaugural-Dissertation 1886.

5. Nitrate und Nitrite.

Die salpetersauren Salze, insbesondere das Kaliumnitrat (Salpeter), NO_3K, sind namentlich in der Rinde und dem Mark von krautartigen Pflanzen aufgefunden worden, während die salpetrigsauren (Nitrite) nur höchst selten oder gar nicht vorkommen. Zuerst wurde auskrystallisirter Salpeter von Borodin gelegentlich seiner Untersuchungen über Asparagin aufgefunden, dann von Monteverde das Vorkommen dieses Salzes in den Pflanzen näher studirt und endlich von Molisch eine Farbenreaction entdeckt, welche es ermöglicht, die beiden genannten Verbindungen überhaupt, sowie das Maass ihrer Ansammlung, welches von dem unteren Stengelende nach oben abnimmt, mit Sicherheit nachzuweisen.

Die von dem letzteren Autor empfohlenen Reagentien sind Diphenylamin und Brucin, von denen wir hier nur das erstere berücksichtigen wollen. Man verwendet dasselbe bei frischen Schnitten in Lösungen von 0,01 g bis 0,1 g Diphenylamin in 10 ccm reiner Schwefelsäure, welche vollkommen klar und farblos erscheinen. Am besten zeigen die Reactionen jedoch etwas auf dem Objectträger angetrocknete Schnitte,

Digitized by Google

aus dem Stengel von *Helianthus, Chenopodium, Amaranthus* oder *Tradescantia* (Strassburger), mit einer Lösung von mittlerer Concentration umhüllt und eingedeckt. Sobald das Reagens zu dem salpeterhaltigen Zellsaft vorgedrungen ist, tritt eine tiefblaue Färbung ein, welche sowohl von einem Nitrat als von einem Nitrit herrühren kann. Um zu entscheiden, ob eines der letzteren vorhanden ist, behandelt man einen zweiten Schnitt mit einer Lösung von salzsaurem Metaphenylendiamin, welcher beim Vorhandensein eines Nitrites sofort braungelb gefärbt werden würde.

Nach Arnaud et Padé (Comptes rendus, Bd. 98, S. 1488) erhält man, wenn frische Schnitte eines Nitrate enthaltenden Gewebes in eine mit Salzsäure schwach angesäuerte 0,4 proc. Lösung von salzsaurem Cinchonamin getaucht werden, eine schöne Reaction. Es scheiden sich dann im Innern der betreffenden Zellen schöne — ihrer Gestalt nach nicht näher beschriebene — Krystalle des salpetersauren Cinchonamins aus.

Fig. 51.

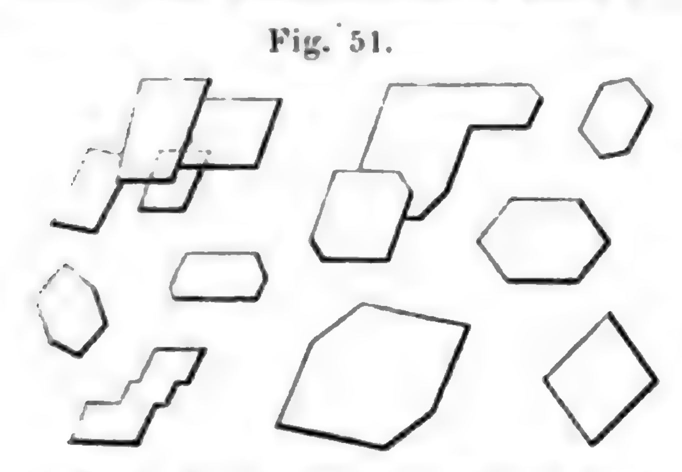


Fig. 51. Verschiedene Krystallformen des Kaliumnitrates. Vergr. 1 : 240.

In unter Deckglas unter Zusatz von Alkohol ausgetrockneten Schnitten nitrathaltiger Gewebe krystallisirt das Kaliumnitrat meist vollständig in Form von rhombischen Tafeln aus, welche meist einen stumpfen Winkel von 99° 48′ besitzen (Fig. 51), aber auch bisweilen solche von 109° 56′ und 118° 50′ zeigen und in polarisirtem Lichte scharf hervortreten.

Monteverde: Ueber Verbreitung und Vertheilung des Salpeters in der Pflanze und über einige chemische Umwandlungen unter dem Einflusse des Zellsaftes. Separatabdr. a. d. Arb. d. St. Petersb. naturf. Gesellsch., Bd. VII, Theil II, 1882; Referat im Bot. Centralbl., Bd. XII, 1882, S. 257.

Molisch: Ueber den mikrochemischen Nachweis von Nitraten und Nitriten in den Pflanzen. Ber. der bot. Gesellsch. 1883.

Arnaud et Padé: Recherches chimiques sur l'acide nitrique des nitrates dans les tissus vegétaux. Compt. rend., Bd. 98, 1884.

6. Farbstoffe.

Als Lösungen im Zellsaft sind im Allgemeinen nur die unter dem Namen Anthocyan zusammengefassten, ihrer chemischen Zusammensetzung nach noch nicht näher erforschten blauen, blaugrünen, violetten und rosen- oder hell- bis carminrothen, in Wasser, Alkohol und Aether löslichen Farbstoffe, und zwar letztere nur mit wenigen, schon erwähnten Ausnahmen vorhanden. Gelb gefärbter Zellsaft, dessen Farbstoff sich nach Courchet (a. a. O., S. 361 und 362) von dem an die Farbstoffkörper gebundenen dadurch unterscheiden soll, dass er von concentrirter

Digitized by Google

Schwefelsäure niemals gebläut und im Gegensatz zu letzterem als Anthochlor (Prantl) und Xantheïn bezeichnet wird, kommt nur in den Blumenblättern einzelner Pflanzen, so z. B. von *Verbascum nigrum*, gelben Dahliablüthen, *Cephalaria leucantha*, *Antyrrhinum majus*, *Linaria lutea*, *Mesembryanthemum*, *Opuntia Raffenesquiana*, *Rosa lutea*, *Crocus sativus* u. a., orangefarbener in denen von *Dichisma citiatum*, brauner in jenen einiger Delphiniumarten und von *Vicia Faba* (die schwarzbraunen Flecken) vor.

Mischfarben verschiedener Art können durch das Vorhandensein von gelösten und an Protoplasten gebundenen Farbstoffen in ein und derselben oder in verschiedenen Zellschichten der betreffenden Blüthenblätter entstehen, und hat man bei den einschlägigen Untersuchungen, die an dünnen, hinreichend durchsichtigen Blumenblättern ohne jede andere Präparation, als die Entfernung der Luft, bei dickeren an nicht zu dünnen Quer- wie an Flächenschnitten ausgeführt werden können, auf diese Verhältnisse besonders zu achten.

In dem spectroskopischen Verhalten haben diese Farbstoffe das mit einander gemein, dass sie zwischen den Fraunhofer'schen Linien

Fig. 52.

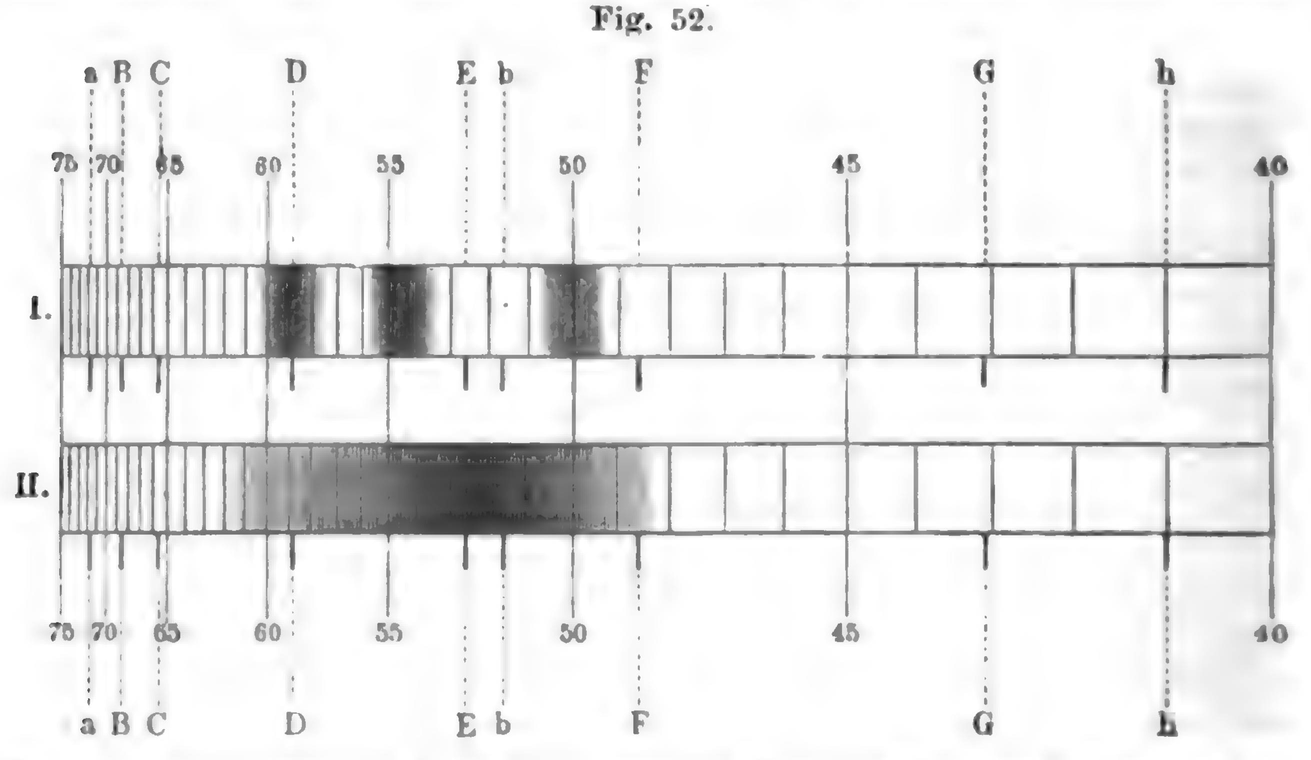


Fig. 52. Absorptionsspectrum. I aus der Unterseite des Blattes von Tradescantia discolor. II des Blumenblattes von Scilla sibirica.

C und *F* bei schwächeren Lösungen zwei oder drei, etwa zwischen $\lambda = 580 - 610$, $545 - 560$ und $490 - 510$ liegende Banden zeigen (Fig. 52, I), welche bei stärkerer Concentration oder grösserer Schichthöhe in eine einzige breitere Bande zusammenfliessen, während Endabsorption eintritt (Fig. 52, II).

Klausen: a. a. O. } (Unter Protoplasta.)
Courchet: a. a. O., S. 287. }
Müller: Spectralanalyse der Blüthenfarben. Pringsh. Jahrb., Bd. XX, 1888.

Digitized by Google

IV. Flüssige und feste Ausscheidungen.

Von den geformten, in der Zelle, und zwar in dem Zellsaft enthaltenen Ausscheidungen wollen wir hier nur die Fette, Oele, Terpene und Harze, die festen Farbstoffausscheidungen, das Calciumoxalat, Calciumcarbonat, Calciumsulfat und die Kieselkörper näher ins Auge fassen, indem wir andere, nur höchst vereinzelt vorkommende als für unsere Zwecke weniger wichtig, übergehen.

1. Fette und Oele.

Fette und fette Oele. Die Fette und fetten Oele sind unlöslich in kaltem und heissem Wasser, mit wenigen Ausnahmen wenig löslich in absolutem Alkohol, ferner in einer nicht zu grossen Menge von Eisessig oder wässeriger Chloralhydratlösung ganz oder fast unlöslich. Dagegen werden dieselben von Aether, Methylalkohol, Chloroform, ätherischen Oelen, Phenol und Aceton gelöst. Bringt man Schnitte betreffender Pflanzentheile in eine mit gleichen Theilen Wasser verdünnte und filtrirte Lösung von Alkannin (H., S. 721; G., S. 332) und lässt dieselbe einige Stunden darin verweilen, so werden die Oeltropfen blut- bis braunroth gefärbt. In fester Form in den Zellen abgelagerte Fette (Cacaobohnen) können durch Erwärmen der Schnitte in der Lösung in die Tropfenform übergeführt werden. Die früher erwähnte Cyaninlösung ertheilt Fetten und fetten Oelen eine schön blaue (Ranvier: Technisches Lehrbuch der Histologie, S. 97, 1888), Osmiumsäure in 1proc. Lösung eine tief braune bis schwarze Färbung.

Flüchtige Oele. Die flüchtigen Oele (ätherische Oele) unterscheiden sich von den fetten Oelen durch ihre Löslichkeit in kochendem Wasser, absolutem Alkohol, Eisessig und Chloralhydratlösung. Die Färbung mittelst der eben genannten Mittel theilen die flüchtigen mit den fetten Oelen.

2. Terpene und Harze.

Die Terpene, welche an der Luft durch Oxydation verharzen, sowie die als Ausscheidungen in den Zellen vorkommenden, in Terpenen und flüchtigen Oelen gelösten Harze sind in Alkohol und Aether löslich und können durch die gleichen Mittel wie die Oele gefärbt werden. Zum Nachweise derselben benutzt man daher am besten die Färbung mittelst Kupferacetat (Unverdorben-Franchimont).

Digitized by Google

Man lässt zu dem Ende Stücke der zu untersuchenden Pflanzentheile etwa eine Woche lang oder auch länger in einer gesättigten wässerigen Lösung von Kupferacetat verweilen und entfernt dann durch Abwaschen das anhangende Kupferacetat, um die Objecte sofort zur Untersuchung zu verwenden oder in schwachem Alkohol (etwa 50 proc.) aufzubewahren. Quer- und Längsschnitte zeigen nun eine schöne blau- bis smaragdgrüne Färbung der Terpene und Harze.

3. Farbstoffausscheidungen.

Die nicht an Protoplasten gebundenen Farbstoffausscheidungen von blauer oder violetter Farbe, welche in dem Zellsafte der Blumenblätter von Delphiniumarten, *Glaucium fulvum* (an dem Grunde), *Thunbergia alata*, *Anagallis arvensis* und *coerulea*, in den äusseren Blüthenhüllblättern von *Allium Schoenoprasum*, sowie in dem Fruchtfleische der Beeren von *Solanum nigrum*, *Viburnum Tinus*, *Passiflora*, *accrifolia* und *alata* beobachtet wurden, besitzen entweder die Form kleiner

Fig. 53.

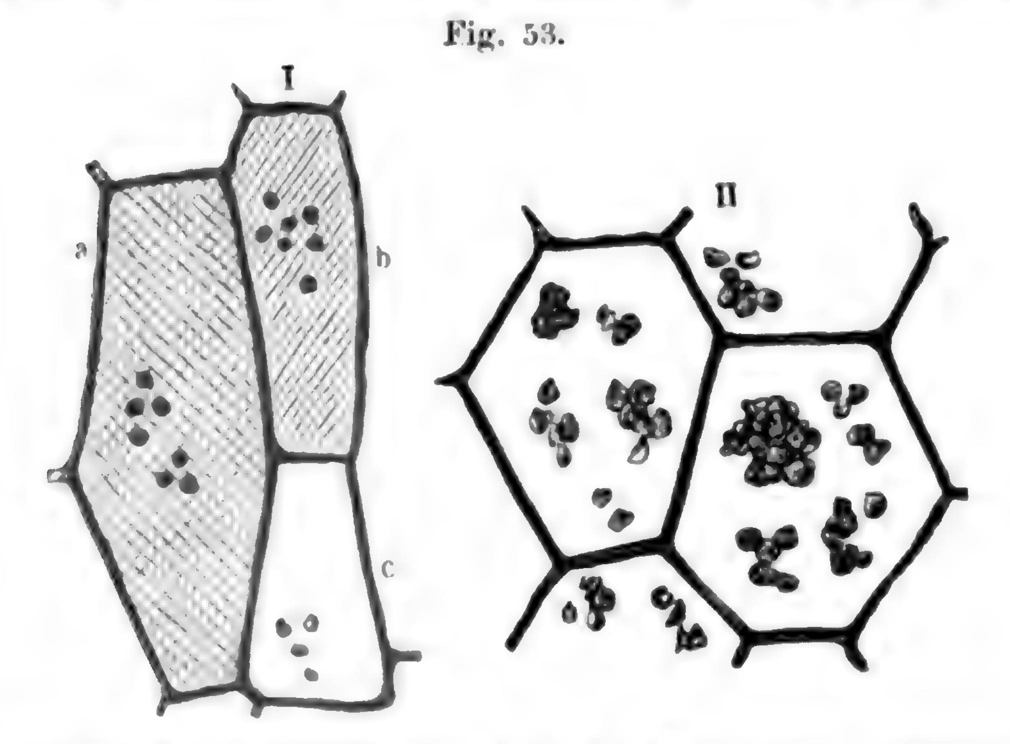


Fig. 53. Feste blaue Farbstoffabscheidungen. I aus dem Blumenblatt von Delphinium tricolor. II aus der Oberhaut von Viburnum Tenus (nach Fritsch). Vergr. 1 : 750.

Krystalle, welche dendritenartig oder strahlenförmig zusammengeordnet erscheinen, oder sie bilden Anhäufungen von amorphen kleinen Körnern (Fig. 53, I und II sowie XI und XII). Dieselben sind nicht zu verwechseln mit den sogenannten „Farbstoffkugeln", welche in den Spitzen der Blumenblätter von *Bilbergia amoena* und in dem Perigon von *Strelitzia regina* auftreten. Dies sind keine körperliche Gebilde, sondern mit blauem Zellsaft erfüllte kleine Zellsafträume, wie sich sowohl durch den Verfolg ihrer Entwickelungsgeschichte, als durch Lösung ihres Inhaltes mittelst Alkohols feststellen lässt. Welchen Umständen die

Digitized by Google

Entstehung der festen Farbstoffausscheidungen, welche auch in ungefärbtem Zellsafte auftreten können, zuzuschreiben ist, lässt sich nicht mit Sicherheit entscheiden, doch dürften dieselben in allen Fällen, wo sie in gleich gefärbtem Zellsaft enthalten sind, durch Auskrystallisiren eines Ueberschusses des letzteren hervorgegangen sein.

C. v. Nägeli: Farbstoffkrystalloide bei den Pflanzen, in Bot. Mittheilungen. München 1862.
Weise: a. a. O.
Schimper: a. a. O., S. 128.
Fritsch: a. a. O., S. 224 u. f.

4. Krystalle.

Die im Inhalte der Pflanzenzellen erscheinenden Krystalle bilden Erd- und fast ausnahmslos Kalksalze, deren Säure in der Regel eine organische, und zwar die Oxalsäure ist. Krystallisirte Salze mit unorganischen Säuren kommen dagegen im Pflanzenreiche nur selten vor.

a) Calciumoxalat, C_2O_4Ca.

Zusammensetzung und Vorkommen. — Bis jetzt sind Calciumoxalatkrystalle bei zahlreichen Pflanzenorganen, und zwar vorzugsweise in parenchymatischen Zellen der Gewebe, von denen jedoch die Rinde in der Regel die reichlichsten Mengen führt, beobachtet worden. Es fehlen dieselben vielleicht nur in wenigen Pflanzen, obwohl manche Familien sich namentlich reich an ihnen erweisen, wie z. B. die Liliaceen, Scitamineen, Aroideen, Cacteen, Begoniaceen, Chenopodeen, Moreen, Asclepiadeen und Apocyneen etc. Bald erscheinen dieselben einfach, oder als Zwillingsgestalten, in Einzahl, sowie zu mehreren in einer Zelle (*Allium, Musa, Aesculus, Rubinia, Citrus* u. s. w.) (Fig. 54, I, a. f. S.), bald bilden sie grössere oder kleinere Krystallgruppen: Drusen (*Hoya Urostigma, Chenopodium, Begonia* etc.) (Fig. 54, II a und b), Sphäriten (einige Cacteen, wie *Phyllanthus Cereus* nach Möbius). Die sogenannten Raphiden (Fig. 54, III und IV) sind nadelförmige Krystalle, welche sich meistens in ziemlich grosser Menge von einer Schleimschicht umschlossen oder lose in einer Zelle zu Bündeln, den Raphidenbündeln, vereinigt finden.

Krystallformen. — Die genaue Bestimmung der einzelnen in den mannigfachsten Combinationen auftretenden Krystallgestalten bietet oft grosse Schwierigkeiten, da sich die Kanten- und Flächenwinkel, welche der Messung zugänglich sind oder derselben durch Drehung des Krystalles zugänglich gemacht werden, und aus denen die übrigen zur Construction der Krystallgestalt nothwendigen unbekannten Elemente durch trigonometrische Rechnung gefunden werden können, bei ihrer Kleinheit nicht immer genau bestimmen lassen. Wo die Objecte gross genug sind, da

Digitized by Google

bedarf es zu dieser Bestimmung indessen keineswegs des theuren Goniometers, sondern es liefert die genaue Nachzeichnung mittelst der *Camera lucida* und die nach entsprechender Verlängerung der Schenkel vorgenommene Winkelmessung mit einem guten und fein ($^1/_3{}^0$) getheilten Transporteur an Genauigkeit gleiche Resultate. Als leichter ausführbar und genauere Resultate versprechend erscheint die neuerdings von **Zenger** vorgeschlagene Methode (s. Literatur), wonach die senkrecht zur optischen Achse gestellten Diagonalen- oder Kantenlängen mittelst

Fig. 54.

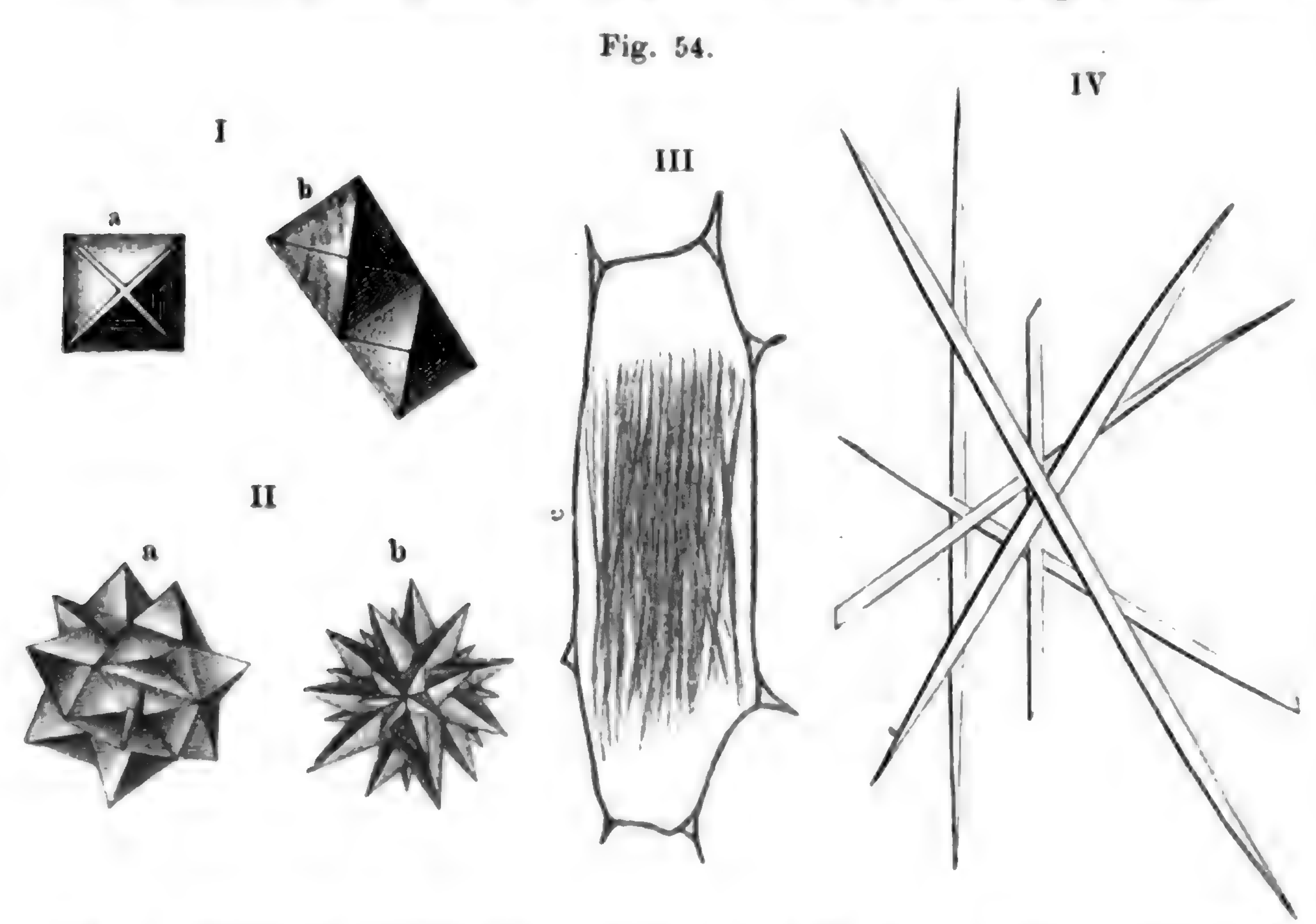


Fig. 54. Verschiedenes Vorkommen von Krystallen. I aus dem Blatt von Begonia heracleifolia; *a* ein einzelnes Quadratoctaëder; *b* ein Zwillingskrystall derselben Form. Vergr. 1 : 660. — II Krystalldrüsen; *a* aus dem Blatte der obigen Pflanze (Quadratoctaëder); *b* aus dem Stengel von Urostigma elasticum (Gummibaum). Vergr. 1 : 660. — III eine Zelle mit Raphiden aus dem Stengel von Aloe retusa. Vergr. 1 : 320. — IV einzelne Raphiden aus dem Stengel von Tradescantia viridis. Vergr. 1 : 500.

einer der mikrometrischen Methoden gemessen und daraus die Grössen der Winkel trigonometrisch berechnet werden.

Die in den Pflanzenzellen beobachteten Formen der Calciumoxalatkrystalle lassen sich in den beiden Krystallsystemen unterbringen, in denen der oxalsaure Kalk auch sonst auftritt, und deren Grundgestalten die quadratische (quadratisches, tetragonales System) und schiefrhombische (monoklinisches, monosymmetrisches oder schief-rhombisches System) Säule bilden, wofür eine hinreichende Vertrautheit mit den betreffenden Gestalten in den meisten vorkommenden Fällen die nöthigen Anhalte gewähren dürfte, ohne dass man gerade zu den oben genannten Mitteln zu greifen brauchte, die jedoch überall da zur Anwendung

Digitized by Google

kommen müssen, wo der geringste Zweifel waltet und sie eine ausreichende Sicherheit erwarten lassen.

Im ersteren Falle, wo wir es dann mit sechsfach gewässertem, d. h. drei Molecüle Krystallisationswasser enthaltendem, oxalsaurem Kalk zu thun haben, treten quadratische Säulen und Tafeln, quadratische Oc-

Fig. 55.

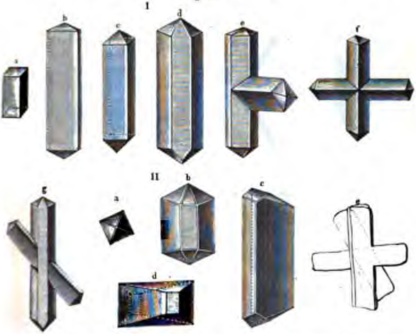


Fig. 55. Krystallformen des quadratischen Systems. I aus dem Blatte von Allium cepa; *a* quadratische Säule, *b* plattenförmige Säule mit Octaëdercombination; *c* Combination von quadratischer Säule und quadratischem Octaëder; *d* Ableitungsform, aus einer Combination voriger Art durch Abstumpfung zweier diagonalen Seitenkanten entstanden; *e*, *f* und *g* Zwillingskrystalle. II aus dem Stengel von Tradescantia viridis; *a* Quadratoctaëder; *b* quadratische Säule mit abgestumpften Seitenkanten und aufgesetztem Octaëder, dessen Gipfelkanten ebenfalls abgestumpft sind; *c* eigenthümliche, sehr seltene Ableitungsform einer Säulen-Octaëdercombination, entstanden durch abnorme Vergrösserung zweier zusammenstossenden Flächen [1]; *d* nur vereinzelt erscheinende hemiëdrische Ableitungsform, aus der quadratischen Säule entstanden durch Abstumpfung von zwei Paar Endecken mittelst Sphenoïdflächen und folgende Abstumpfung je zweier diagonaler Seitenkanten; *e* Zwillingskrystall. Vergr. 1 : 1200.

taëder oder verschiedene Combinationen von Säulen und Octaëdern auf (Fig. 55).

Im anderen Falle, wo die Krystalle aus zweifach gewässertem, d. h. ein Molecül Krystallwasser enthaltendem, oxalsaurem Kalk bestehen,

[1]) Möglicherweise ist diese Form auch eine hemiëdrische Combination des Quadratoctaëders.

finden sich entweder die reine Grundgestalt, d. h. die schief-rhombische Säule (Hendyoëder, Fig. 56, I und IV a), oder von ihr abgeleitete, meist durch Abstumpfung der diagonal einander gegenüber liegenden Seiten-

Fig. 56.

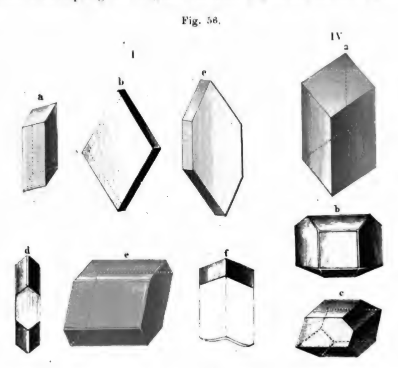


Fig. 56. Krystallformen des monoklinischen oder schief-rhombischen Systems. I, *a* bis *f* aus dem Bastparenchym von Aesculus hippocastanum. *a* schief-rhombische Säule, auf einer Seitenfläche liegend; *b* dieselbe durch Verkürzung der Hauptachse zur Tafel geworden, auf einer Endfläche liegend; *c* wie *b* mit Abstumpfung der beiden stumpfen (orthodiagonalen) Seitenkanten, *d* Ableitungsform der schief-rhombischen Tafel, entstanden durch Abstumpfung der beiden stumpfen Seiten- und der scharfen Randkanten bis zur Mitte der Seitenflächen und Ersatz der ersteren durch die Hemi-Pyramidenflachen, auf der ersteren Abstumpfungsfläche liegend; *e* Ableitungsform der Grundgestalt durch Abstumpfung der stumpfen Seitenkanten, auf einer der letzteren Abstumpfungsflächen liegend; *f* Zwilling, und zwar eine sogenannte Hemitropie der Form *c*. II, *a* bis *e* aus dem Marke von Periploca graeca erhaltene, den Formen unter I, *a* und *e* entsprechende Gestalten; *c* Zwillinge. III, *a* bis *e* aus dem Parenchym in der Nähe der Gefässbündel von Musa sinensis; *a* schief-rhombische Säule, durch stärkere Ausdehnung zweier gegenüberstehenden Seitenflächen plattenformig geworden; *b* schief-rhombische Tafel mit abgestumpften orthodiagonalen Kanten; *c* Ableitungsform aus *a*, entstanden durch Abstumpfung zweier scharfen, diagonal gegenüberliegenden Randkanten; *d* und *e* schief-rhombische Tafeln, Ableitungsform wie in *b*, die erstere

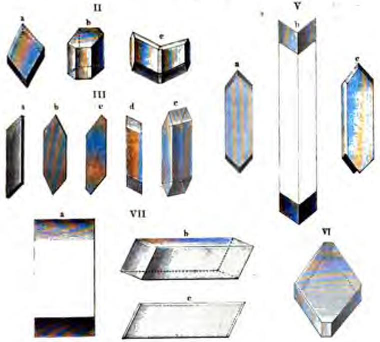
oder Randkanten oder beider zugleich u. s. w. entstandene Gestalten (Fig. 56, I bis IV b und f, VI, V a, VII a bis c), wobei nicht selten Zwillinge (Hemitropien) auftreten (Fig. 56, I f, II c, V b und c).

Mikrochemischer Nachweis und optisches Verhalten. — Die einzigen chemischen Reactionen, welche sich bis jetzt zum Nachweise

Digitized by Google

des oxalsauren Kalkes mikrochemisch verwerthen lassen, bestehen in Folgendem. Löslichkeit in grösserer Menge kalten oder in geringerer Menge heissen Wassers würde Gyps anzeigen, die unter Aufbrausen er-

Fig. 56.



auf einer Abstumpfungsfläche liegend, die letztere etwas gewendet und daher perspectivisch. IV, *a* bis *c* aus der Gefässbündelscheide des Fiederstieles von Cycas revoluta; *a* ausgebildete schiefrhombische Säule, in der Zelle auf einer der scharfen Seitenkanten liegend; *b* seltene Ableitungsform aus der ersteren, entstanden durch Abstumpfung der scharfen (klinodiagonalen) Seitenkanten und der spitzen Endecken; der untere Theil unvollständig ausgebildet; *c* desgleichen, entstanden durch die Abstumpfung der zwei an beiden Endflächen sich diagonal gegenüberliegenden scharfen Randkanten; auf einer Seitenfläche der Säule liegend. V Krystalle aus der Guajakrinde; *a* Ableitungsform wie I, *c*, welche leicht mit den, durch auf den ursprünglichen Endflächen liegende Zwillinge von der Gestalt bei *b* erzeugten Formen *c* verwechselt werden können, wenn man bei diesen nicht die beiden Spitzen erkennen kann. VI tafelförmige Säule aus Citrus Aurantium, mit Abstumpfung der scharfen klinodiagonalen Seitenkanten. VII schiefe rectanguläre Säulen aus einer brasilianischen Bignonia, entstanden durch Abstumpfung der ortho- und klinodiagonalen Seitenkanten der Grundgestalt. *a* auf der Grundfläche liegend, senkrecht von oben gesehen; *b* in gleicher Lage etwas zur Seite gedreht, daher perspectivisch; *c* auf der Abstumpfungsfläche der stumpfen Seitenkante liegend. Vergr. I bis IV 1 : 1200; V 1 : 800; VI und VII 1 : 670.

folgende Lösung in Essigsäure kohlensauren Kalk erkennen lassen, während das Fehlen der letzteren Reaction neben der Lösung ohne Gasentwickelung in Salpeter- und Salzsäure auf oxalsauren Kalk hinführt. Diese Reactionen werden namentlich da von Wichtigkeit, wo man nach den beobachteten Krystallgestalten, die entweder als zu dem

Digitized by Google

schief-rhombischen System gehörig erkannt, oder für Rhomboëder gehalten werden, in der That aber schief-rhombische Tafeln sind, statt auf oxalsauren, auf schwefel- oder kohlensauren Kalk zu schliessen sich veranlasst sehen könnte. Zur Unterscheidung von Calciumoxalat und Calciumsulfat leistet nach Kohl Chlorbariumlösung gute Dienste, indem darin die Krystalle des ersteren unverändert bleiben, während die des letzteren sich mit einer feinkörnigen Schicht von schwefelsaurem Baryt überziehen. Ein Gemisch von Chlorbarium und Salzsäure wirkt derart, dass die Calciumoxalatkrystalle sich vollkommen lösen, der Gyps dagegen in Bariumsulfat verwandelt wird. Unterstützt werden die hierbei gewonnenen Resultate noch dadurch, dass man nach dem am besten auf einem auf ein Platinblech gelegten Deckglase vorzunehmenden, nicht zu weit zu führenden (weil sonst das Calciumoxalat statt in Calciumcarbonat in Calciumoxyd überführenden) Glühen der betreffenden, in durchfallendem Lichte schwarz erscheinenden Krystalle auf Zusatz von Essigsäure Auflösung mit Gasentwickelung beobachtet, was unzweifelhaft die vorherige Gegenwart von Oxalsäure anzeigt. Sollte indessen doch eine Ueberführung in Calciumoxyd stattgefunden haben, so findet Lösung der Krystalle ohne Gasentwickelung statt. Sollte man auf mikrochemischem Wege nicht zu dem gewünschten Ziele gelangen, so empfiehlt sich, wenn es nicht an der erforderlichen Menge des Materials gebricht, die makrochemische Untersuchung, mit der wir uns hier nicht zu befassen haben.

Weiteren Aufschluss darüber, ob diese Inhaltselemente, die hier und da, z. B. bei *Tradescantia viridis*[1]), in denselben Gewebetheilen und sogar in vereinzelten Fällen in ein und derselben Zelle in beiden Modificationen neben einander vorkommen (Dippel, Weiss a. a. O. und Zimmermann: Die Morphologie und Physiologie der Pflanzenzelle, S. 100), soweit sie sich nicht sicher krystallographisch bestimmen lassen, dem quadratischen oder schief-rhombischen Krystallsysteme angehören, gewährt deren Untersuchung im polarisirten Lichte.

Verhalten im polarisirten Lichte. Die Krystallformen, welche dem quadratischen System angehören, sind optisch einachsig. Octaëder, die so stehen, dass ihre Hauptachse parallel mit der Achse des Polarisationsapparates steht, wovon sich in Canadabalsampräparaten immer einzelne finden, erscheinen sowohl zwischen den gekreuzten Nicols allein, als nach Einschaltung eines Gypsplättchens neutral. Liegende Octaëder glänzen auf dem dunklen Grunde unter $\pm 45^0$ silberweiss (Fig. 57, I). In gleicher Weise verhalten sich die Combinationen der quadratischen Säule mit dem Octaëder (Fig. 57, II bis V). Auf dem Gypsgrunde erscheinen dieselben mit der Hauptachse unter $+ 45^0$ orientirt in Dunkel-

[1]) Ich habe auf dieses Vorkommen schon in der ersten Auflage S. 328 aufmerksam gemacht.

Digitized by Google

blau bis Grünblau, unter — 45° in Orange bis Gelbweiss. Es fällt sonach in allen diesen Formen die grösste Elasticitätsachse mit der optischen Achse zusammen, und es ist der in denselben krystallisirte oxalsaure Kalk **einachsig-positiv**.

Fig. 57.

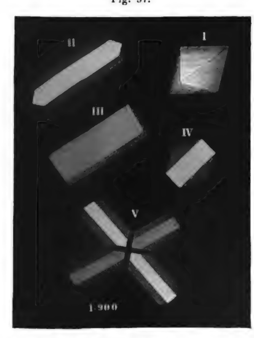


Fig. 57. **Krystalle des quadratischen Systemes von oxalsaurem Kalk im polarisirten Lichte. I und IV aus dem Blattparenchym von Tradescantia discolor. II, III und V aus der Schale der Zwiebel. Vergr. 1 : 900.**

Von den Krystallformen des klinorhombischen Systems eignen sich namentlich diejenigen, welche in der Guajakrinde, den Musaceen, Scitamineen und Canna-Arten, den Irideen und manchen Orchideen vorkommen. Besonders günstig sind die nicht zu kleinen und doch hinreichend dünnen Krystalle aus dem Blattstiele von *Maranta zebrina*.

Orientirt man eine dieser durch Abstumpfung der stumpfen (orthodiagonalen) Kanten entstandenen, auf dem dunklen Grunde mit Glänzendweiss erster Ordnung bis Grün zweiter Ordnung leuchtenden Combinationen von Maranta auf der Endfläche liegend mit der Klinodiagonale unter + 45° über dem verzögernden Plättchen, so erhöht dieselbe den Gypsgrund auf Blau bis Orange zweiter oder Grün dritter Ordnung, während sie unter — 45° Subtractionsfarben hervorruft, die je nach der ursprünglichen Färbung des Objectes sich in höheren oder tieferen Tönen der ersten Ordnung bewegen. In ähnlicher Weise verhalten sich die gleichen Combinationen unter gleicher Orientirung, wenn sie auf einer der Abstumpfungsflächen liegen, nur dass dann die optische Wirkung in Bezug auf den entsprechenden Durchmesser eine verhältnissmässig geringere ist, d. h. dass dieser zur Hervorbringung der gleichen Farbe auf dem dunklen Grunde ein grösserer sein muss. Eine ähnliche Combination aus der Guajakrinde gab auf der Endfläche liegend zwischen den einfach gekreuzten Nikols Rosa dritter Ordnung, auf dem Gypsplättchen unter + 45° Hellrosa vierter Ordnung, unter — 45° Orange zweiter Ordnung, eine zweite auf der Abstumpfungsfläche liegend für sich Grün dritter Ordnung, auf dem Gypsplättchen unter + 45° Grün vierter Ordnung.

Digitized by Google

unter — 45° Grün zweiter Ordnung. In gleicher Weise verhalten sich die hierher gehörigen Krystallformen der anderen Pflanzen, unter anderen auch die Nadeln von Scilla, Aloë u. s. w. Unter 0° und 90° erscheinen sämmtliche hierher gehörigen Krystalle neutral, wenn entweder die Abstumpfungsflächen der orthodiagonalen Kanten, oder die Endflächen mit der Polarisationsebene eines der beiden Nicol'schen Prismen parallel gerichtet sind.

Suchen wir aus diesem Verhalten den Verlauf der Elasticitätsachsen festzustellen, so ergiebt sich, dass in der Endflächenlage die grösste der hier zur Geltung kommenden Achsen mit der Klinodiagonale, die kleinere mit der Orthodiagonale parallel gerichtet ist, und dass in der anderen Lage die erstere parallel der Endfläche, die andere in einer hierauf senkrechten Ebene dahingeht. Hieraus aber folgt, dass die grösste Elasticitätsachse mit der Klinodiagonale parallel ist, die beiden anderen in einer zu dieser senkrechten Ebene liegen. Um deren Stellung in dieser letzteren zu bestimmen, dient die Drehung des Objectes um die orthodiagonale oder die auf dieser senkrechten Achse. Dreht man letztere, so

Fig. 58.

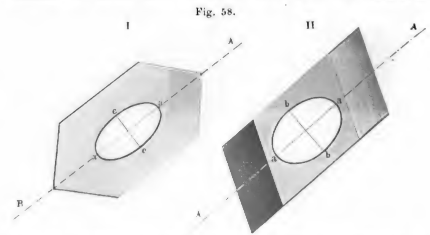


Fig. 58. Die in der Endfläche I und der der Klinodiagonale parallelen Abstumpfungsfläche II zur Geltung kommenden Ellipsoiddurchschnitte für den oxalsauren Kalk.

wird der Krystall bei starker Neigung neutral, was darthut, dass die Achsenebene der Endfläche parallel geht, die kleinste Elasticitätsachse der Orthodiagonale gleich gerichtet (Fig. 58, I), die mittlere auf dieser senkrecht ist (Fig. 58, II), worauf übrigens auch schon der oben erwähnte Unterschied in der optischen Wirkung bei verschiedener Lage hindeutet. Hiermit die Farbenänderung des Gypsgrundes zusammengehalten, erweist sich der in klinorhombischer Form krystallisirte oxalsaure Kalk als zweiachsig-positiv.

Zwischen den beiden Formenreihen des oxalsauren Kalkes besteht insofern ein bemerkenswerther Unterschied, als die Krystalle des klino-

Digitized by Google

rhombischen Systems bei gleicher Dicke eine weit stärkere Wirkung äussern, als jene des quadratischen. So z. B. erscheint eine der quadratischen Säulen der *Tradescantia discolor* von 0,015 mm Dicke auf dem dunklen Grunde nur in Gelblichweiss der ersten Ordnung, während eine der klinorhombischen Combinationen von *Maranta zebrina* sich schon bei 0,003 mm Dicke auf der Endfläche liegend, orange, auf der Abstumpfungsfläche liegend, gelbweiss färbt, eine solche von 0,006 mm auf der letzteren Fläche in Indigblau, auf der ersteren in Gelbgrün zweiter Ordnung erglänzt.

Dieses Verhalten kann für die Bestimmung derjenigen Krystalle von Wichtigkeit werden, deren Formen, wie dies bei den Nadeln und bei den Krystalldrusen der Fall, nicht mit Sicherheit zu erkennen ist. Hier deutet die verhältnissmässig starke Wirkung sofort darauf hin, dass dieselben nur dem klinorhombischen Systeme angehören können. So z. B. leuchten die in der Tradescantia vorkommenden Nadeln schon bei sehr geringer Dicke glänzendweiss, gelblichweiss bis gelb, während die quadratischen Krystalle bei weit grösserer Dicke dieselben Farben geben. Man hat dieselben sonach keineswegs als abgeleitete Formen der letzteren zu betrachten, sondern zu den klinorhombischen Combinationen zu stellen. In gleicher Weise erkennt man die Drusen der Begonien als aus quadratischen, jene der Asclepiadeen u. s. w. als aus klinorhombischen Combinationen zusammengesetzt.

Zur Beobachtung des Vorkommens der Krystalle in den verschiedenen parenchymatischen Geweben der Pflanzen, wobei besonders darauf zu achten ist, ob nur Formen eines oder ob solche der beiden genannten Krystallsysteme in ein und derselben Pflanze (Tradescantia, Commelina, einzelnen Orchideen u. s. w.) und in welcher auf die verschiedenen Gewebe bezüglichen Vertheilung sie auftreten, hat man für den Stengel Quer- und Längsschnitte, für das Blatt Quer- und Flächenschnitte zu fertigen. Für die krystallonomische und mikrochemische Untersuchung benutzt man am besten isolirte Krystalle, welche leicht durch Schaben der betreffenden Pflanzentheile unter Wasser und mehrmaliges Absetzenlassen der so erhaltenen Masse in nicht zu engen Reagenscylindern hinreichend rein erhalten werden.

Meyen: Neues System der Pflanzenphysiologie. Bd. I, 1837.

Bailey: In American Journal of science and arts. Vol. 48, pag. 17.

Unger: Ueber Krystallbildungen in den Pflanzenzellen. Annalen des Wiener Museums. Bd. I, 1844. Anatomie und Physiologie der Pflanzen. 1855.

C. Schmidt: Entwurf einer allgemeinen Untersuchungsmethode der Säfte und Excrete des thierischen Organismus. Leipzig 1846.

Sanio: Monatsberichte der preussischen Akademie der Wissenschaften. 1857. Januar, Seite 53 und April, Seite 253.

v. Berg: Archiv der Pharmacie 1859. 2. Reihe, Bd. IXC, Heft 1, und Bot. Zeitung 1861. Seite 140.

Zenger: Mikroskopische Messungen der Krystallgestalten einiger Metalle. Sitzungsberichte der kaiserl. Akademie, Bd. 44, Abth. 2, Heft III, Seite 297.

Flückiger: Schweizerische Wochenschrift für Pharmacie. Bd. I, Heft 1, 1862.

Digitized by Google

Gg. Holzner: Ueber die Krystalle in den Pflanzenzellen. Flora 1864, Nr. 18, 19 und 35.

Klein: Die Krystalle der Meeresalgen in Pringsheim's Jahrbüchern, Bd. XIII, 1882.

Vesque: Observations sur les cristaux d'oxalate de chaux in Ann. d. sc. natur. Bot., Ser. V., T. 19.

Weiss: Ueber ein eigenthümliches Vorkommen von Kalkoxalatmassen in der Oberhaut der Organe einiger Acanthaceen. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien 1884.

Moebius: Sphärokrystalle von Kalkoxalat bei Cacteen, in Ber. d. bot. Gesellsch. 1885.

Kohl: Anatomisch-physiologische Untersuchungen der Kalksalze und Kieselsäure in der Pflanze. 1889.

b) Calciumcarbonat, Calciumsulfat und Calciumtartrat.

Calciumcarbonat, CO_3Ca. Das Vorkommen von kohlensaurem Kalk in den Zellen, und zwar in krystallinischer Form, ist zuerst von Molisch nachgewiesen worden. Derselbe findet sich vorzugsweise in dem Kernholze, und zwar meist in den Gefässen und hofporigen Holzfasern gewisser Holzarten, wie *Ulmus, Celtis, Sorbus torminalis, Acer rubrum, Fagus sylvatica, Populus alba, Cornus sanguinea* u. a., tritt aber auch in den Markstrahlen und in den Zellen des Markes auf, wenn das angrenzende Holz in Kernholz übergeht. Ebenso finden sich ähnliche Massen in den äusseren Frucht- und Samenschalen mancher Pflanzen (*Celtis australis, Lithospermum officinale, Cerinthe glabra*), sowie nach Leitgeb in dem axillaren Zellenstrang von *Blasia pusilla*. Häufig sind die betreffenden Zellen ganz von den hier und da concentrisch geschichteten (Fig. 59, IV) oder eine strahlige Structur zeigenden Kalkablagerungen angefüllt, so dass nach dem Glühen von Holzstückchen vollständige Abdrücke des Hohlraumes der Zellen mit deren Verdickungsformen, Spiralen, Netzwerken und Poren zurückbleiben (Fig. 59, I bis IV). Die Entwickelung dieser Ablagerungen lässt sich in den Markstrahlen z. B. von *Populus alba*, verfolgen, wo zuerst die

Fig. 59.

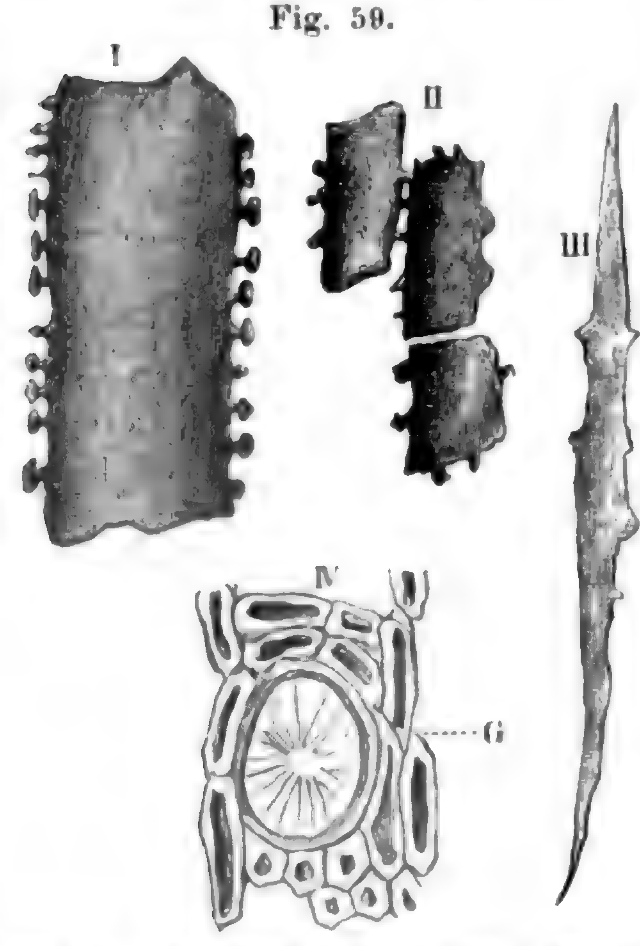


Fig. 59. Kalkabgüsse aus der Asche des Kernholzes und des Markes von Ulmus campestris. I Gefass. II Markzellen. III desgleichen aus der Asche des kranken Kernholzes von Acer rubrum (Holzfaser). IV Querschnitt durch Wendholz von Acer pseudoplatanus. *G* Gefäss mit Calciumcarbonat von strahliger Structur erfüllt (nach Molisch).

Zellwände mit stäbchenförmigen Körperchen bedeckt sind, deren Vermehrung allmälig nach dem Innenraum fortschreitet.

Zum mikrochemischen Nachweis des Calciumcarbonates verwendet man — mit Ausnahme der Essigsäure — eine beliebige, am besten concentrirte Salzsäure, bei deren Zusatz die Kohlensäure in Form von Luftbläschen entweicht. Noch bessere Dienste leistet eine mit etwas Essigsäure angesäuerte Lösung von oxalsaurem Ammoniak oder eine 1 proc. Lösung von Oxalsäure, welche in der Umgebung des kohlensauren Kalkes die Bildung von Calciumoxalatkrystallen hervorrufen.

Calciumsulfat, SO_4Ca. Krystalle von schwefelsaurem Kalk (Gyps) sollten nach den Angaben älterer Botaniker häufiger vorkommen. Es hat sich indessen herausgestellt, dass diese Angaben auf falscher Deutung der Krystallformen beruhten, die dem oxalsauren Kalke angehörten. Nur in den Endvacuolen der Closteriumarten sind die kleinen Molecularbewegung zeigenden Körperchen schon länger als Gypskryställchen erkannt worden, welche sich auch in den Bewegungsbahnen des Protoplasmas und in dem übrigen Zellsaftraume finden. Neuerdings nun hat Fischer nachgewiesen, dass sich Gypskrystalle stets in allen gesunden Zellen der Gattungen *Paenium*, *Pleurotaenium* und *Tetmemorus* finden, dass sie häufig bei *Microsterias*, *Euastrum* und *Cosmarium* auftreten, bei *Staurastrum*, *Desmidium* und *Hyalotheca* aber nicht auffindbar sind.

Die Form der Gypskryställchen, welche sich im polarisirten Lichte als schwach doppeltbrechend erweisen, lässt sich ihrer Kleinheit halber nicht genau bestimmen. In der Regel haben sie die Gestalt von kleinen Säulchen oder Täfelchen, hier und da finden sich auch Zwillingskryställchen, welche den schwalbenschwanzförmig ausgeschnittenen Zwillingsgestalten des Gypses entsprechen.

Zum mikrochemischen Nachweise eignet sich am besten Bariumchlorid, welches den Gyps in das in Salzsäure und Salpetersäure unlösliche Bariumsulfat umwandelt, während jener sich in beiden Säuren — ähnlich wie in Kalilauge — in der Kälte langsam, beim Erhitzen sofort löslich erweist. Schwefelsäure äussert selbstverständlich keinen Einfluss, Essigsäure löst die Krystalle, welche auch beim Glühen unverändert bleiben, nicht.

Fig. 60.

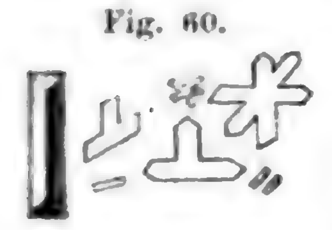


Fig. 60. Calciumtartratkrystalle aus dem Rindenparenchym des Stieles eines herbstlichen Blattes von Vitis Labrusca (nach Zimmermann).

Calciumtartrat, $CaC_4H_4O_6 + {}^1/_2 H_2O$. Der weinsaure Kalk wurde neuerdings von Schimper in den vergilbten Blättern von Vitis (*Vitis Labrusca* und *vinifera*) und Ampelopsis in krystallisirter Form aufgefunden. Die Krystalle, welche in dem Blattstiele, und zwar zwischen den Gefässbündeln und an der Markseite derselben am grössten sind, bilden meist rhombische Säulen mit aufgesetztem Mikrodoma und treten sowohl einzeln, als in verschiedenartigen Verwachsungen auf (Fig. 60). Dieselben sind in Wasser kaum, in Kalilauge sehr leicht löslich, leicht löslich sind sie ferner in verdünnter, schwer

Digitized by Google

löslich in concentrirter Essigsäure. Beim Glühen werden die Krystalle nach Zimmermann (Die botanische Mikrotechnik) in kugelige Massen verwandelt, welche sich in 10proc. Essigsäure unter Blasenbildung auflösen.

Im polarisirten Lichte leuchten die Calciumtartratkrystalle in wenig höheren Farben wie diejenigen des tetragonalen Calciumoxalats.

Melinikoff: Ueber das Vorkommen des kohlensauren Kalks in Pflanzen. Bonn 1877.

Molisch: Ueber die Ablagerung von kohlensaurem Kalk im Stamme dikotyler Holzgewächse. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien, Bd. 84. Abthl. I, 1882.

Fischer: Ueber das Vorkommen von Gypskrystallen bei den Desmidieen, in Pringsheim's Jahrbüchern, Bd. XIV, 1884.

Schimper: Zur Frage der Assimilation der Mineralsalze durch die grüne Pflanze. Flora 1890.

5. Kieselkörper.

Die als Zellinhalt vorkommenden Kieselkörper sind zuerst von Link in den Orchideenknollen gesehen und abgebildet, dann von Crüger in der sogenannten „Canto-Rinde", von H. v. Mohl in der Oberhaut, dann in den die Gefässbündel begleitenden Zellen von einigen Chrysobalaneen, Dilleniaceen und Magnoliaceen, von Rosanoff bei Orchideen, Palmen und einigen anderen Pflanzen, endlich von Cario und Warming in den Podostomaceen aufgefunden worden. Dieselben können sowohl in Zellen mit verkieselten als kieselsäurefreien Zellwänden vorkommen, treten in der Regel in der Oberhaut, in den zunächst die Gefässbündel umgebenden Zellreihen, seltener auch in anderen Zellen des Grundgewebes auf und füllen entweder diese Zellen vollkommen aus oder erscheinen als ein einzelnes rundliches Korn. Bei den Palmen haben die Kieselkörper eine traubenförmige Gestalt und kommen die Zellen ganz ausfüllend entweder einzeln oder zu mehreren (*Phoenix dactylifera, Caryota urens*) darin vor (Fig. 61, I); bei den Orchideen besitzen sie die Gestalt einer in der Mitte verdickten Scheibe (Fig. 61, II); in den Blättern von *Galipea macrophylla* zeigen sie häufig Schichten und ähneln den Sphärokrystallen (Fig. 61, IV a bis c), während bei den Podostomeen ihre Form bald stäbchenförmig, bald spindelförmig, bald sternförmig erscheint und ihre Oberfläche von ringförmigen oder spiralig verlaufenden Leisten, sowie von netzförmigen oder unregelmässigen Vorsprüngen bedeckt, manchmal auch von Höhlungen durchbrochen wird, zu denen vollständige Durchbohrungen hinzukommen (Fig. 61, IVa und b). Man erhält die Kieselkörper, die beim Glühen nicht zerstört und ausser der Fluorwasserstoffsäure von keiner Säure angegriffen oder gelöst werden, leicht isolirt, wenn man die betreffenden Gewebeschnitte nach einer der

Digitized by Google

Fig. 61.

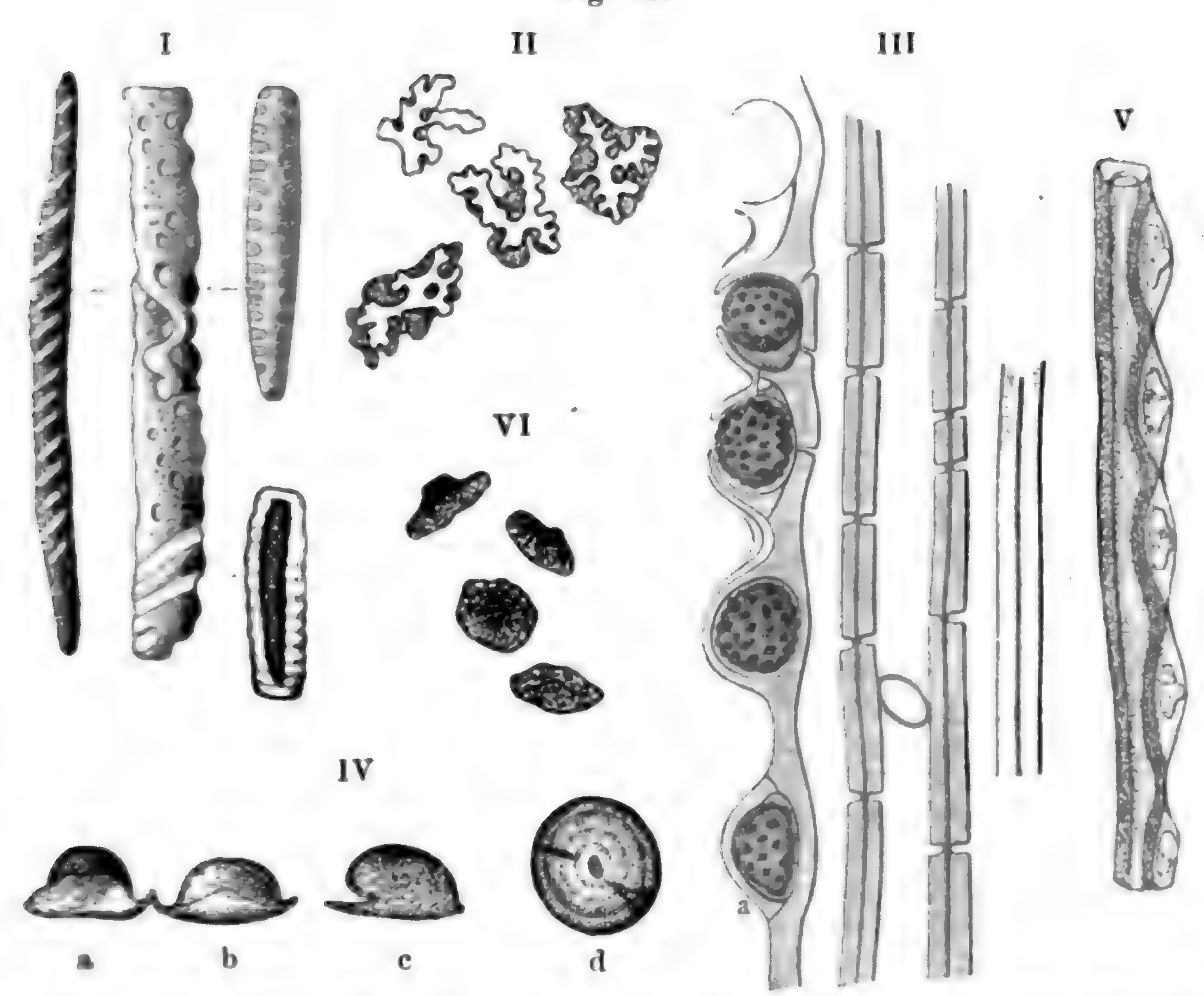


Fig. 61. Kieselkörper. I aus dem Thallus. II aus der Blattscheibe von Tristicha hypnoides. Vergr. 1 : 220 (nach Cario). III in einem Längsschnitt des Blattstieles von Caryota urens. IV aus dem Blattrande von Galipea macrophylla, *a* bis *c* von der Seite, *d* von oben gesehen. V und VI aus dem Blatt von Oncidium leucochilum: V isolirte Faserzelle mit anhängendem Kieselkörper, VI einzelne Kieselkörper (nach Pfitzer). Vergr. III 1 : 600, IV 1 : 1200 (nach Rosanoff).

H., S. 787; G., S. 384 u. f. beschriebenen Methoden behandelt, durch welche die organische Substanz zerstört wird.

Link: Bemerkungen über den Bau der Orchideen u. s. w. Bot. Zeitung 1842. S. 750 u. T. X, Fig. 5.

Crüger: Westindische Fragmente. Ebend. 1857. S. 281.

H. v. Mohl: Ueber das Kieselskelett lebender Pflanzenzellen. Ebend. 1861. S. 209.

Rosanoff: Ueber Kieselsäureablagerungen in einigen Pflanzen. Ebend. 1871. S. 749.

Pfitzer: Ueber das Vorkommen von Kieselscheiben bei den Orchideen. Flora 1877. S. 245.

Cario: Anatomische Untersuchung von Tristicha hypnoides. Ebend. 1881, S. 25.

Warming: Vidensk. Meddedelser fra naturh. Forening 1881. p. 89. (Siehe auch Bot. Centralbl. 1881. S. 108.)

Kohl: a. a. O., 1889.

Für die Beobachtungen der Pflanzenzelle im polarisirten Lichte kommen folgende Werke in Betracht.

Digitized by Google

Karl v. Erlach: Mikroskopische Beobachtungen über organische Elementartheile bei polarisirtem Licht. Müller's Archiv für Anatomie und Physiologie etc. 1847. Heft 14, Seite 313.

Ehrenberg: Monatsberichte der Berliner Akademie, 1849. Seite 55.

Schacht: Das polarisirte Licht und seine Wirkung auf die Pflanzenzelle, Lehrbuch der Anatomie und Physiologie, 1856. Seite 428.

H. v. Mohl: Die Untersuchung des Pflanzengewebes mit Hülfe des polarisirten Lichtes. Botanische Zeitung 1858. Nr. 1 und 2. Nachträgliche Bemerkungen Nr. 52.

Max Schultze: Die kolbenförmigen Gebilde in der Haut von Petromyzon und ihr Verhalten im polarisirten Lichte. Archiv für Anatomie und Physiologie von Reichert und Du Bois-Reymond, 1861. Heft 2 und 3.

Valentin: Die Untersuchung der Pflanzen- und Thiergewebe im polarisirten Lichte. Leipzig 1861.

Nägeli: Botanische Mittheilungen. Heft 2. Separatabdruck aus den Sitzungsberichten der königl. Bayer. Akademie der Wissenschaften, 1862.

Dippel: 1. Das Mikroskop. 1. Aufl. Bd. II, Abthlg. 1, 1869 [1]). 2. Die Anwendung des polarisirten Lichtes in der Pflanzenhistologie in Zeitschr. f. wissensch. Mikroskopie. Bd. I, S. 210, 1884.

Nägeli und Schwendener: Das Mikroskop. 2. Aufl. Leipzig 1877.

Müller: 1. Handbuch der Botanik. Bd. I. Heidelberg 1880. 2. Polarisationserscheinungen pflanzlicher und künstlicher Celloidzellen in Ber. d. Bot. Gesellsch. 1883, S. 77. 3. Polarisationserscheinungen und Molecularstructur pflanzlicher Gewebe in Pringsheim's Jahrbüchern. Bd. XVII, S. 1. 1886.

Ebner: Untersuchungen über die Ursachen der Anisatropie organischer Substanzen. Leipzig 1882.

Zimmermann: 1. Ueber den Zusammenhang zwischen Quellung und Doppelbrechung. Ber. d. Bot. Gesellsch. 1883, S. 533. 2. Ueber den Zusammenhang zwischen der Richtung der Tüpfel und der optischen Elasticitätsachsen, a. a. O., 1884, S. 124. 3. Ueber das Verhalten der optischen Elasticitätsachsen vegetabilischer Zellmembranen bei der Dehnung, a. a. O., S. 35. 4. Ueber die Ursachen der Anisatropie organischer Substanzen, a. a. O., S. 47.

Zweites Kapitel.

Die Umbildung der Zelle.

Die Umbildung der Zelle einfachster Gestaltung, wie wir sie im ersten Kapitel betrachtet haben, geschieht in Folge der Ernährung und macht sich nach zwei verschiedenen Richtungen geltend, indem sie einestheils die mannigfachen Wachsthumserscheinungen u. s. w., anderentheils die chemischen und physikalischen Umwandlungen der ursprünglichen Verbindungen ihrer einzelnen Bestandtheile, namentlich aber der Zellwand, trifft.

[1]) Ich erwähne die erste Auflage hier bloss deshalb, weil Resultate, die darin bereits niedergelegt waren, vor einiger Zeit von anderer Seite als neu mitgetheilt wurden.

Digitized by Google

Die unter dem Namen Wachsthumserscheinungen zusammengefassten, die Gestaltung betreffenden Umbildungen rufen einerseits als „Flächenwachsthum“ eine Vergrösserung des ganzen Rauminhaltes sowie die Aenderung der ursprünglichen Gestalt der Zelle hervor, und machen sich andererseits als „Verdickung“ der Zellwand geltend.

I. Grössen- und Formveränderungen der Zelle.

Die Pflanzenzelle, ursprünglich in ihren drei räumlichen Ausmessungen wenig verschieden und ebenflächig, erlangt die nach ihrer vollständigen Ausbildung zu beobachtende Verschiedenheit nach dieser Richtung erst in Folge der Vergrösserung des Rauminhaltes, an welcher sowohl der lebendige Zellkörper, die Zellsafträume als die für uns hier besonders in Betracht zu ziehende Zellwand durch ihre Ausdehnung betheiligt sind. Mit der Vergrösserung dieser Bestandtheile ist aber noch ein weiteres, für das Studium der Zelle wichtiges Moment verknüpft. Dieses besteht in der theils durch eine mehr gleichmässige oder ungleichmässige Ernährung, theils durch den Einfluss, welchen die mit einander vereinigten Zellen auf einander üben, bedingten Wandlung der ursprünglichen Gestalt.

Aus allseitig gleichmässig oder ungleichmässig vor sich gehender Ernährung entstandene Zellenformen. — Wo die Zellen frei entstehen, oder bald nach ihrer Entstehung sich aus ihrem Verbande lösen, da behalten dieselben im ersteren Falle ihre sphärische Gestalt so ziemlich bei oder streben im anderen derselben mehr oder weniger zu, sobald die Ernährung und somit die Ausdehnung nach allen Seiten gleichmässig erfolgt. Aenderung der sphärischen Gestalt in die mancherlei sphäroidischen Formen ist weniger Folge eines ungleichmässigen Wachsthums, als des für die Entwickelung gestatteten Raumes.

Die kugelförmigen Zellen sind vorzugsweise unter den Sporen der Algen, der Moose und Lebermoose, ferner unter den Pollenkörnern der Phanerogamen sowie in dem Fruchtfleische einzelner saftiger Beerenfrüchte zu suchen, wo deren Ausdehnung entweder durch die Form der Mutterzelle oder in Folge der losen Verbindung der Zellen unter einander ein freier Spielraum gelassen ist. In einer grossen Zahl der letzteren finden sich neben der kugelförmigen auch die mehr oder weniger abweichenden sphäroidischen Formen (Fig. 62, I, *a* bis *d*, a. f. S.).

Frei entstandene, in Folge ihrer Vergrösserung sich nach einzelnen Seiten des Kugelradius in ihrer Ausdehnung hemmende Zellen nehmen hier eigenthümliche, namentlich bei den Sporen der Lebermoose, Moose und Farrnkräuter zu beobachtende Formen an, welche man als tetraëdrische bezeichnet und bei welchen die eine Seite von einer Kugelhaube

Digitized by Google

die übrigen aber von ebenen mehr oder minder regelmässigen Flächen begrenzt werden (Fig. 62, III).

Treten die frei entstandenen Zellen zu Geweben zusammen, so wandelt sich die kugelförmige oder sphäroidische Gestalt durch den gegen- und allseitig ausgeübten Druck in eine den in geschlossenem Gewebeverbande entstandenen Zellen ursprünglich eigene mehr oder minder regelmässige polyëdrische um (Fig. 62, II, *a* und *b*), was einerseits in dem aus freier Zellenbildung hervorgegangenen, sich mittelst Zelltheilung weiter

Fig. 62.

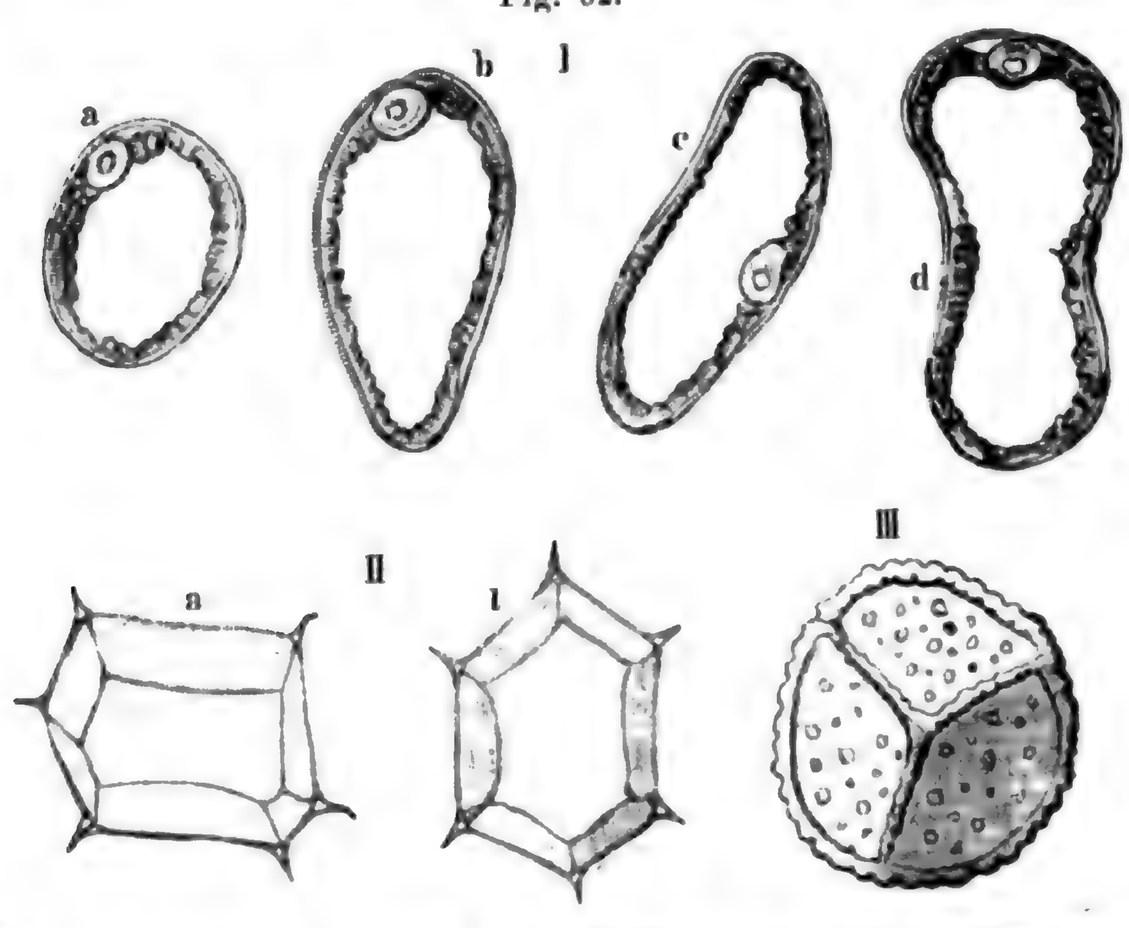


Fig. 62. I, *a* bis *d* rundliche, elliptische und bisquitförmige Zellen aus dem Fruchtfleische des Pfirsichs. II polyëdrische Zelle aus dem Marke von Acacia lophanta, *a* im Querschnitt, *b* im Längsschnitt. III tetraëdrische Zellen. Sporen von Anthocerus laevis. Vergr. 1 : 370.

entwickelnden Albumen mancher Samen, andererseits in dem Urparenchym und dem eben aus diesem durch Zelltheilung hervorgegangenen Grundgewebe, namentlich aber in dem Marke vieler Dikotyledonen, in den Wurzelknollen der Kartoffel und anderer ähnlicher Gewächse beobachtet und durch zarte Quer- und Längsschnitte zur Anschauung gebracht werden kann.

Wo die Ernährung zwar nach allen drei Ausmessungen, nicht aber gleichmässig über die ganze Oberfläche vor sich geht, da entstehen jene Formen, die man in dem Marke des Stengels von Juncus und anderen Sumpf- und Wasserpflanzen findet und als strahlenförmige bezeichnet (Fig. 63, II). Eine mehr unregelmässige Ernährung bringt endlich jene unregelmässig buchtigen und strahligen, dann die vielfach verzweigten Formen der Zellen hervor, wie sie sich z. B. in dem Parenchym der Blätter von Thea, Camelia, in den in die Luftgänge der Nymphae hinein-

Digitized by Google

reichenden Haarzellen, sodann in der Rinde und dem Baste der Auracarien und der Weisstanne finden (Fig. 63, I, II und III).

Fig. 63.

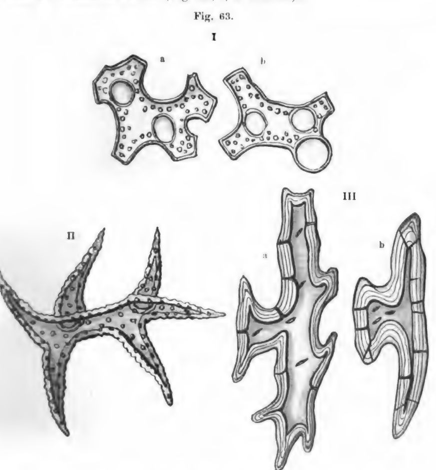


Fig. 63. I unregelmässig buchtig-strahlige Zellen aus dem Blattgewebe von Asplenium Nidus. Vergr. 1 : 780. II unregelmässig strahlige Haarzelle aus dem Luftgange von Nymphaea alba. Vergr. 1 : 370. III, *a* und *b* zwei verästelte Zellen aus dem Rindengewebe von Abies pectinata. Vergrösserung 1 : 420.

Aus nach zwei Dimensionen vorwaltender Ernährung hervorgegangene Zellenformen. — Waltet die Ernährung vorzugsweise nach zwei Ausmessungen vor, während sie nach der dritten zurückbleibt, so entstehen daraus tafelförmige Zellen, die, je nach der freien oder gehemmten Entwickelung, wieder rundlich oder polygonal-tafelförmig werden, dagegen als sternförmige, buchtige, wellige Zellenformen auftreten, wenn die Ausdehnung unregelmässig erfolgt (Fig. 64, I bis IV, a. f. S.).

Digitized by Google

Die tafelförmigen Zellen finden sich namentlich in der Oberhaut des grünen Stengels und der Blätter der Gefässpflanzen, sowie in der Mitte der Scheidewände (Diaphragmen), der Luftcanäle mancher Monokotyle-

Fig. 64.

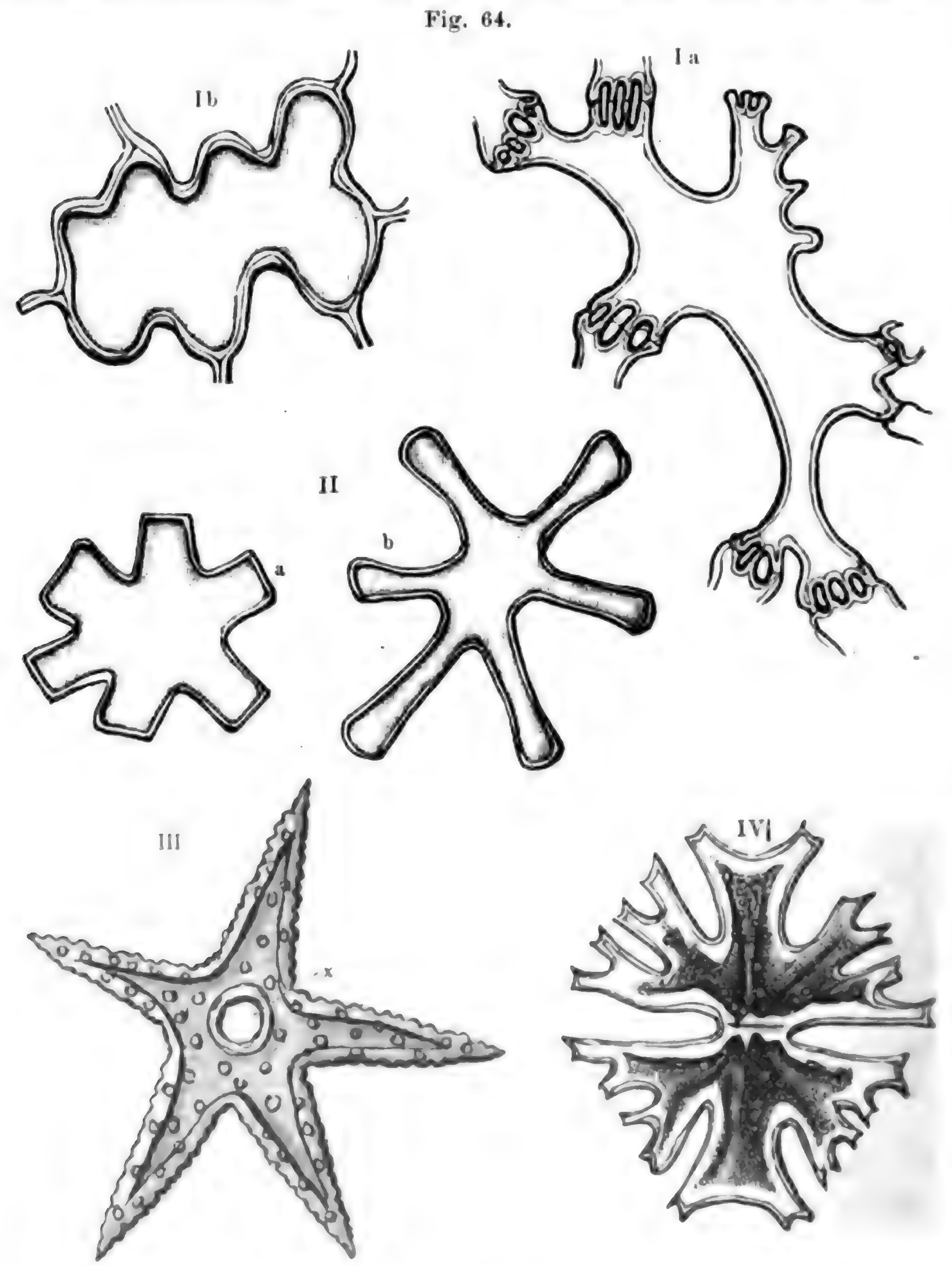


Fig. 64. I tafelförmig-buchtige Zelle nebst angrenzenden Zelltheilen, *a* aus einem Diaphragma des Stengels von Scirpus palustris, *b* aus der Oberhaut von Asplenium Nidus. II grosse sternförmige Zellen aus der horizontalen Scheidewand der Luftgänge von Botamus umbellatus, *a* im jüngeren, *b* im älteren Zustande. III regelmässig strahlige Haarzelle aus der Oberhaut von Deutzia scabra, *x* durchscheinende Oeffnung des Zellengrundes. IV unregelmässig sternförmige Zelle Enastrum crux melitensis. Vergr. I und II 1 : 780, III und IV 1 : 400.

Digitized by Google

denen (Binsenarten, z. B. J. glaucus u. a., Froschlöffel, Musa u. s. w.), wo sie vorzugsweise den letzteren Zellenformen angehören, in den flachen Sternhaaren der Deutzien, dann in fast rechteckig tafelförmiger Form in dem Korkgewebe, als sechsseitige Tafeln in den Blättern der Lebermoose u. s. w. Vor Allem aber bieten die Familien der Diatomeen und Desmidieen ein reiches Feld der wunderbarsten und verschiedensten hierher gehörigen Gestalten.

Aus einseitig vorwaltender Ernährung hervorgegangene Zellenformen. — Vorwaltendes Wachsthum nach nur einer Ausmessung des Raumes bedingt überwiegende Ausdehnung nach der Länge und es gehen daraus diejenigen Zellenformen hervor, welche man als cylindrische, prismatische, spindelförmige und fadenförmige bezeichnet (Fig. 65. a. f. S.). Von ihnen findet man die ersteren vorzugsweise bei den Fadenalgen, dann in dem Blattparenchym (Palissadenparenchym), bei den Gefässzellen der höheren Gewächse und in dem Marke saftiger, rasch wachsender Monokotyledonen, die zweiten in dem letzteren Gewebe, sowie in dem Holz- und Bastparenchym, die dritten als Holz- und Bastfasern, die letzteren bei gewissen Haargebilden (Haarschopf mancher Samen: Asclepiadaceen, Apocynaceen, Baumwolle etc.). Ein ungleichförmiges, d. h. an einzelnen Stellen der Oberfläche stärkeres Wachsthum bringt bei den gestreckten Zellen bald eine geringere (manche Holzzellen, Fig. 65, V), bald eine bedeutendere Verästelung hervor (Bastzellen der Rhizophoren, der Asclepiadeen, Milchröhren der letzteren und der Euphorbien, Moreen u. s. w.) (Fig. 65, VI), welche bei denen der Cichoriaceen und der Carica-Arten bis zu den mannigfachsten mit einander anastomosirenden Verzweigungen sich steigert (Fig. 65, VII).

Um über die verschiedenen Formen der Pflanzenzellen sich den erforderlichen Aufschluss zu verschaffen, sind bei den zu Geweben verbundenen Zellen neben dem Querschnitte noch zwei Längsschnitte erforderlich, von denen der eine parallel mit dem Radius verläuft (Radialschnitt), der andere aber in einer senkrecht auf dem letzteren stehenden Ebene geführt ist (Tangenten- oder Secantenschnitt, der bei dem Blatte zum Flächenschnitte wird, für die Oberhaut durch einfaches Abziehen dieser ersetzt werden kann).

Wo diese Schnitte nicht ausreichen, da müssen die Zellen aus ihrem Zusammenhange gelöst werden, um sie isolirt beobachten zu können. Man macerirt zu dem Ende entweder nicht zu zarte Längsschnitte oder, wo erforderlich, auch stärkere Querschnitte mittelst des H., S. 782, G., S. 380, oder unter Nr. II, 3 a (Intercellularsubstanz) beschriebenen Verfahrens und trennt die betreffenden Zellen unter dem einfachen Mikroskope oder dem Compositum mittelst der Nadel von den sie umgebenden Gewebetheilen.

Literatur: Die Hand- und Lehrbücher der Botanik, sowie die Sonderschriften über die Gestaltenlehre der Pflanzenzelle.

Digitized by Google

Fig. 65.

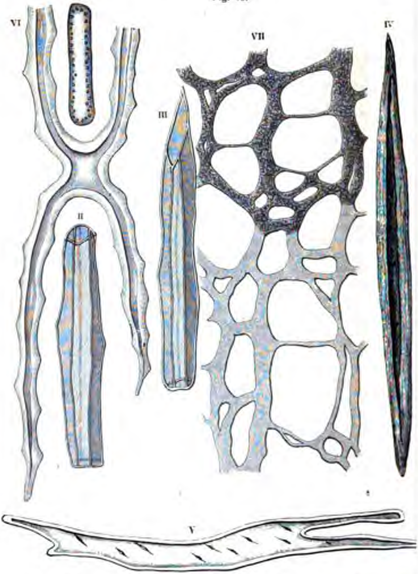


Fig. 65. I cylindrische Zelle aus dem Blattparenchym von **Pyrus communis**. Vergr. 1:650. II und III prismatische und prismatisch-pyramidale Zelle aus dem **Bastparenchym** von **Begonia** sp. Vergr. 1:370. IV spindelförmige Bastzelle von **Bignonia radicans**. Vergr. 1:125. V verzweigte Holzzelle von **Cucurbita pepo**. VI verzweigte Bastzelle von **Hoya carnosa**. VII netzförmig mit einander verbundene Milchsaftgefässe von **Carica microcarpa**. Vergr. 1:460.

Digitized by Google

II. Verdickung der Zellwand.

Die Verdickung der Zellwand, welche schon während der Entwickelung der Primärwand, neben dem Flächenwachsthum hergehend, mittelst Einlagerung neuer Zellstoffmoleküle (Intussusception) die endliche Stärke derselben bedingt, aber erst in späteren Perioden, wenn jene eine bestimmte Grenze erreicht hat, in höherem Maasse in die Erscheinung tritt, erstreckt sich entweder als Innenverdickung nach dem Hohlraume der Zelle, oder macht sich als Aussenverdickung durch eigenartige Hervorragungen ausserhalb der Zelloberfläche geltend (centripetales Wachsthum). Bei manchen Zellenarten, z. B. bei dem Parenchym, erscheint die erstere in der Regel so unbedeutend, dass sie kaum ins Auge fällt; bei anderen Parenchymzellen, bei den Röhren- (Gefäss-) und Faserzellen dagegen tritt sie meist in höherem Maasse auf, so dass oft der Hohlraum — namentlich der letzteren Zellen — fast ganz verschwindet.

1. Innenverdickung.

Diese Form der Verdickung, welche auch als centripetales Wachsthum der Zellwand bezeichnet wird, jedoch — wie in dem vierten Abschnitt dargelegt werden wird — eigentlich als Bildung aufeinanderfolgender Zellwandgenerationen aufzufassen ist, erscheint, wenn man die Substanz der Neubildungen in Betracht zieht, als Zellstoffverdickung (das Wort Zellstoff in dem seitherigen Sinne gebraucht) oder als Schleimverdickung, wenn man sie dagegen in Bezug auf den Umfang betrachtet, welchen sie in der Schnittebene einnimmt, als allseitige, einseitige — und zwar diese beiden bei beiden erstgenannten Verdickungsweisen — leistenartige und stellenweise Verdickung.

Fig. 66.

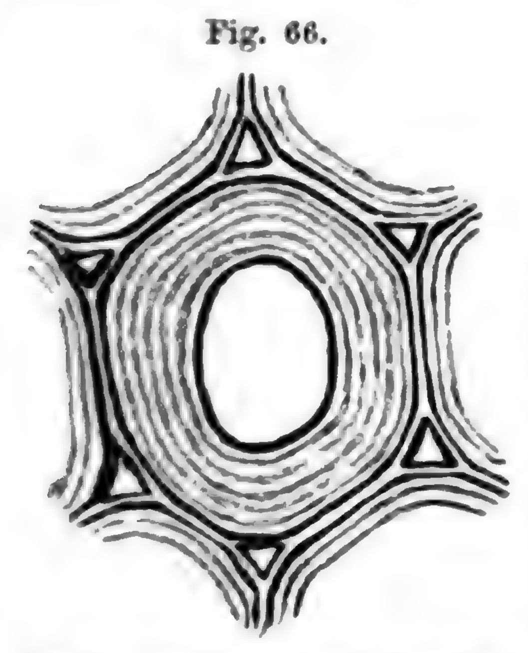


Fig. 66. Querschnitt durch eine Markzelle von Clematis Vitalba. Vergr. 1:800.

A. Zellstoffverdickung.

a) Umfang der Verdickung.

Allseitige Verdickung. — Die allseitige Verdickung besitzt die weiteste Verbreitung und tritt namentlich in den Holz- und Bastfasern, ferner in den verdickten Parenchymzellen der Innenrinde und des Markes, sowie in den Zellen des hornartigen Sameneiweisses mancher Pflanzen in hervorragender Weise auf. Dieselbe lässt sich dahin kennzeichnen, dass bei ihr — von den weiter unten näher zu betrachtenden Formverhältnissen abge-

Digitized by Google

sehen — die Neubildung innerhalb der Primärwand den ganzen Hohlraum der betreffenden Zellen gleichmässig auskleidet (Fig. 66, a. v. S., und Fig. 70, S. 134).

Einseitige Verdickung. — Die einseitige Verdickung der Zellwand tritt bei den Epidermiszellen in der Mehrzahl der Fälle vielfach auch in den Zellen der Antherenwände, sowie in Zellen des Rindenparenchyms und der Bündelscheide (Schutzscheide) mancher Pflanzen auf, so dass die nach aussen oder innen gewendete Wandfläche der betreffenden Zellen, oder auch eine dieser und die beiden anstossenden Wände ganz oder theilweise eine weit stärkere verdickte Zellwand besitzen, als die übrigen, wofür namentlich die Oberhaut des Stengels von Viscum album, der jungen Triebe von Rosa canina, Ficus elastica, Ilex, Dipsacus etc., ferner

Fig. 67.

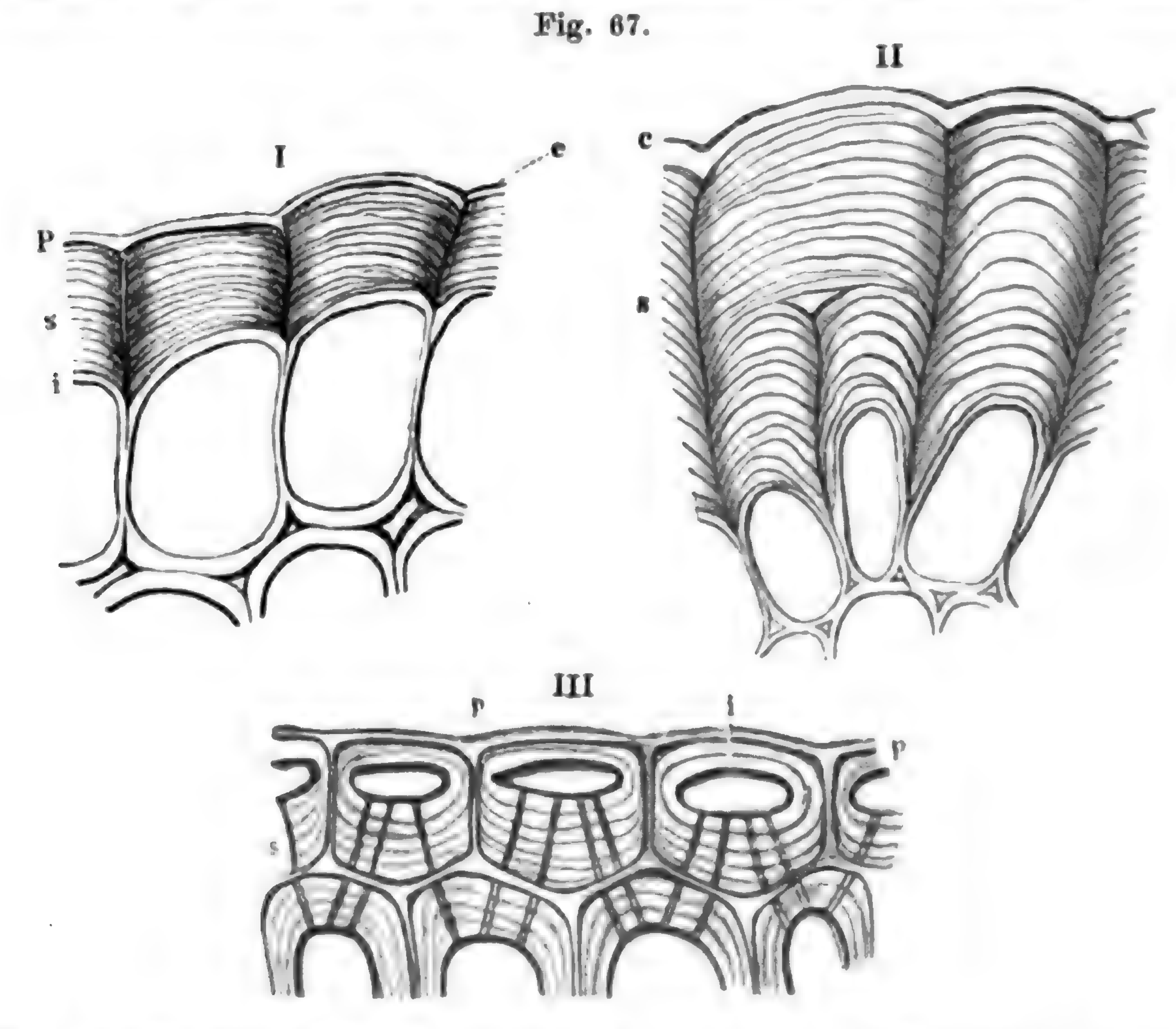


Fig. 67. Einseitig verdickte Zellen. I Querschnitt aus der Oberhaut des Blüthenschaftes von Arum maculatum. II desgleichen aus der Oberhaut eines mehrjährigen Zweiges von Viscum album. III desgleichen aus der Oberhaut des Blattes von Ananassa sativa. *p* Primärwand, *s* secundäre Verdickung, *i* Innenwand, *c* Cuticula. Vergr. 1 : 660.

der Blätter von den genannten Pflanzen, von Allium, Agave, Aloë, Hyacinthus, Tulipa, Bromelia, Ananas, Hechtia, Nerium, Hoya, Citrus, Dianthus, Helleborus, Angelica, Carum, der Bündelscheide der Smilaxarten u. a., die den Basttheil des Gefässbündels im Blattstiele von Cycas nach aussen begrenzenden Zellen, lehrreiche Beispiele gewähren (Fig. 67, I bis III).

Digitized by Google

Leistenartige und stellenweise Verdickung. Die leistenartige Verdickungsform trifft immer nur einzelne Theile der Zellwand, und zwar entweder in Form von Leisten oder von streifenartigen Hervorragungen. Eine derartige Verdickung, und zwar in den Ecken, findet sich sehr schön in den Blättern der Lebermoose, in manchen Parenchymzellen von Cycas revoluta, ferner in dem Collenchym der Dikotyledonen

Fig. 68.

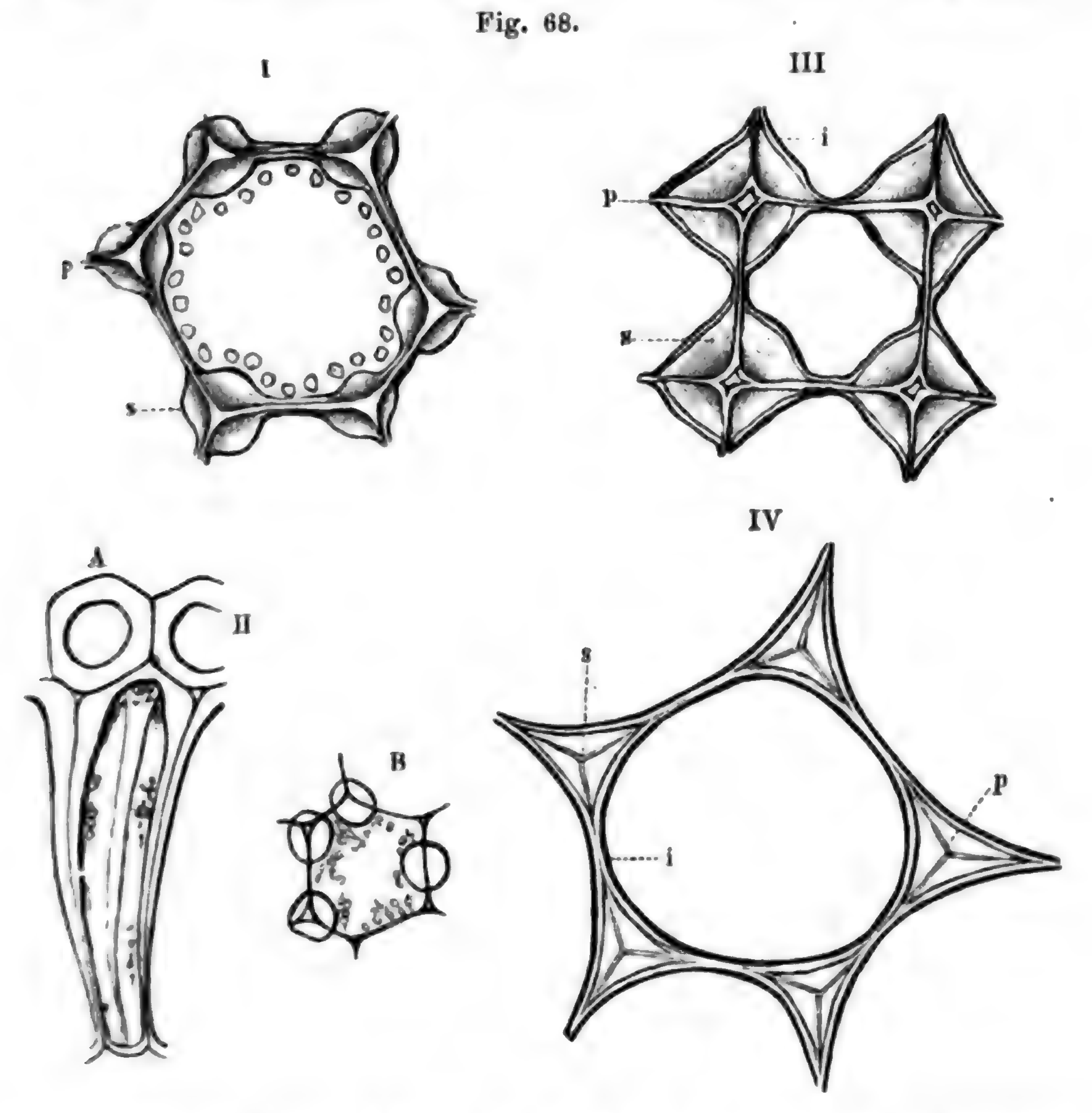


Fig. 68. In den Ecken verdickte Zellen. I aus dem Blatte einer Jungermannia. II cylindrische Parenchymzelle mit angrenzenden Zellen aus der Oberseite des Blattes von Cycas revoluta mit leistenartigen Verdickungsschichten. *A* im Längsschnitt, *B* im Querschnitt. III aus dem Collenchym des Blattstieles von Calla aethiopica. IV aus dem Blüthenstiel einer Begonie. *p* primäre Zellwand, *s* secundäre Verdickungsschichten, *i* Innenwand. Vergr. 1 : 660.

und Monokotyledonen (Fig. 68, I bis IV), wofür sich fast in dem grünen Stengel einer jeden unserer krautartigen Pflanzen ausgezeichnete Beispiele finden.

Balkenartige, von einer Zellwandseite zu der anderen hinüberragende oder im ganzen Hohlraume netzförmig mit einander verbundene Verdickungen beobachtet man in ersterer Form in den Holzfasern von Hippophaee rhamnoides und salicifolia, hier und da auch in denen von

9*

Digitized by Google

Fig. 69.

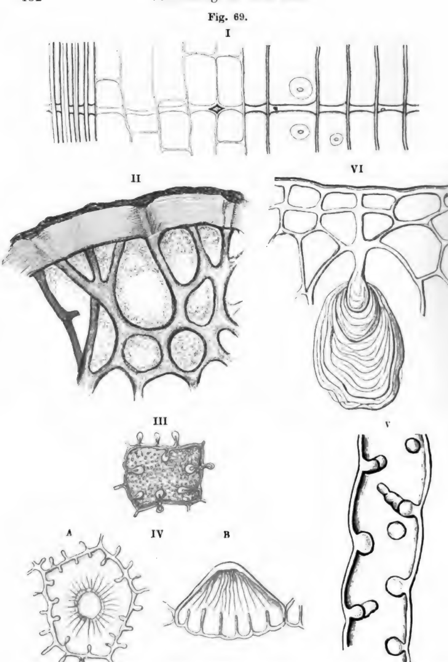


Fig. 69. I radialer Längsschnitt durch Frühlingsholz, einen Harzgang und Herbstholz von Pinus silvestris (nach Ratz). Vergr. 1 : 250. II Querschnitt durch Caulerpa prolifera. III Zelle aus dem Querschnitte der Nadel von Pinus silvestris mit scheinbar kolbenartiger Verdickung der Zellwand. IV eigenthümlich verdickte Oberhautzellen des Blumenblattes von Pelargonium. *A* von oben gesehen, *B* im Querschnitt. V Theil einer Wurzelhaarzelle von Marchantia polymorpha mit nach Innen vorspringender warziger Verdickung. VI Traubenkörper aus dem Blatte von Ficus elastica. Vergr. II 1 : 200, III, IV, V und VI 1 : 370.

Digitized by Google

Pinus silvestris und Araucaria brasiliensis (Fig. 69, I), in der anderen bei den Caulerpaarten (Fig. 69, II), in dem Embryosack von Pedicularis (Schacht und Hofmeister) u. a.

Eigenartige stellenweise Verdickungsformen finden sich in dem Parenchym der Blätter einiger Nacktsamer, sowie in den Oberhaut- und Haarzellen einzelner Pflanzen. Bei den ersteren, so bei Pinus silvestris, bilden die Verdickungsschichten auf dem Querschnitt mehr oder minder weit in das Lumen vorspringende Zapfen oder halbrunde Hervorragungen, indem sie sich (Pinus silvestris) auf einer Falte der primären Zellwand abgelagert haben (Fig. 69, III). Bei den Blumenblättern sind es vorzugsweise die papillenartigen Oberhautzellen, welche eine der eben beschriebenen ähnliche Faltung der primären Zellwand nebst secundärer Ablagerung zeigen, welche mehr oder minder weit in das Zelleninnere reicht. Besonders schön fand ich dieselben bei den Pelargonien, wo sich von den am Grunde befindlichen, weniger zahlreichen Vorsprüngen, zahlreichere feinere Fäden nach dem ziemlich stark verdickten Gipfelpunkt der Papille ziehen, der auf dem Flächenschnitt fast wie ein mit Plasmafäden umgebener Zellkern erscheint (Fig. 69, IV). Bei den Haargebilden bestehen die verdickten Stellen aus knotenförmigen, bald unregelmässig zerstreuten, bald in an eine Spirale erinnernden Reihen von Hervorragungen (Wurzelhaare von Marchantia) (Fig. 69, V).

In den Oberhautzellen der Blätter vieler Urticeen, Moreen und Justicien ist die theilweise Verdickung gleichsam auf einen Punkt der Zellwand beschränkt, wuchert dann aber so bedeutend, dass verhältnissmässig massige, sphäroidische oder spindelförmige Zellstoffkörper (Cystolithen) entstehen, welche von Kalkkryställchen incrustirt erscheinen (Fig. 69, VI).

Zur Beobachtung dieser Verhältnisse dienen in der Regel geeignete Querschnitte, neben denen man etwa noch radiale Längsschnitte, sowie isolirte Zellen der Betrachtung unterwerfen kann. Zur genaueren Einsicht in den Bau der Cystalithen ist der eingelagerte kohlensaure Kalk durch Behandlung der Schnitte mit verdünnter Salzsäure zu entfernen.

b) Schichtung der Zellwand.

In der Regel sind die in verschiedenen Altersstufen entstandenen, individualisirten, also räumlich und morphologisch abgeschlossenen Partien der Zellwand in ihrem optischen Verhalten verschieden. Im einfachsten Falle vermag man die dichtere, optisch stärker lichtbrechende und daher glänzendere Primärwand, eine mittlere, minder dichte, minder stark lichtbrechende, mattere, mehr oder minder mächtige Partie (secundäre Verdickung älterer Bezeichung) und eine dritte, wiederum stärker lichtbrechende, schmale Schicht, die Innenwand (Tertiärwand der Autoren) zu unterscheiden (Fig. 70, I, a. f. S.). Im anderen Falle

Digitized by Google

werden nur wenige, meist breite, schwächer lichtbrechende, meist nicht hervortretend schichtenweise abgelagerte und daher gleichartig erscheinende Ringe durch eine optisch deutlich ausgesprochene, dichtere Schicht nach innen begrenzt und so die „secundäre" Verdickungsmasse gleichsam

Fig. 70.

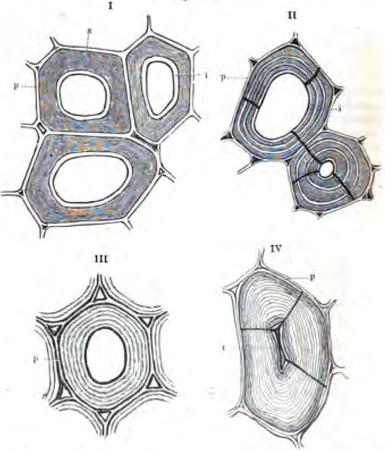


Fig. 70. Verschiedene Zellen mit Verdickungsschichten im Querschnitt. I aus dem Herbstholze von Pinus silvestris mit scharf hervortretender Primär- und Innenwand. II Bastfasern aus dem Stamme von Caryota urens mit deutlicher Primär- und Innenwand und mehreren secundären Schichtencomplexen, welche durch dichtere, optisch scharf unterscheidbare Schichten begrenzt sind. III Markzelle von Clematis Vitalba mit etwa gleich breiten, weichen und härteren Schichten. IV Bastzelle von Larix europaea mit deutlicher Primär- und Innenwand und zahlreichen secundären Schichten. Vergr. 1 : 800.

in mehrere Schichtencomplexe zerlegt (Fig. 70, II). Endlich erscheint die gesammte secundäre Verdickung in eine mehr oder minder grosse

Digitized by Google

Anzahl von schmalen Schichten zerlegt, von denen jede einzelne aus je einer äusseren schwächeren, lichtbrechenden und einer inneren stärker lichtbrechenden Lamelle besteht (Fig. 70, III), oder welche optisch gleichwerthig, nur durch feine Trennungslinien von einander geschieden erscheinen (Fig. 70, IV).

Wo die Schichtung in dem breiteren, schwächer lichtbrechenden secundären Wandtheile der ersten und zweiten Verdickungsweise nicht an und für sich schon sichtbar ist, da lässt sich dieselbe wenigstens in zahlreichen Fällen durch Behandlung mittelst Schwefelsäure, Chromsäure, Aetzkalis oder Kupferoxydammoniaks, welche Mittel auch hier und da die einzelnen breiteren, stärker lichtbrechenden Schichten mancher Zellen wieder in mehr oder minder zahlreiche Lamellen zerfallen machen, zur Anschauung bringen (Fig. 71). So z. B. in den Holzfasern unserer Nadel- und Laubhölzer, den Bastfasern mancher Palmen.

Fig. 71.

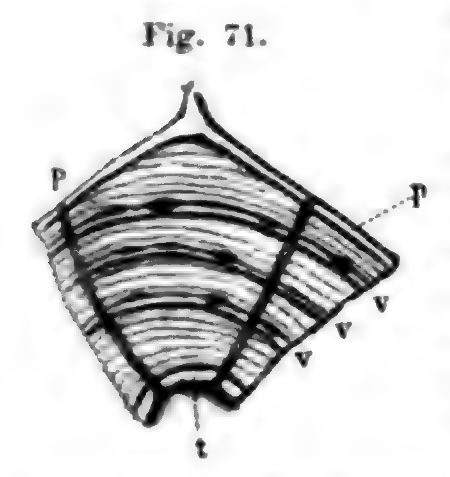


Fig 71. Theil einer Bastfaser von Caryota urens nach kurzer Behandlung mit Schwefelsäure. Vergr. 1 : 800.

Ob die Schichtung der secundären Verdickung Folge der Differenzirung einer ursprünglich gleichartigen, durch Einlagerung (Intussusception) zu ihrer endlichen Dicke herangewachsenen Verdickungsmasse ist, welche sich erst später in verschieden wasserreiche Schichten spaltet, wie dies von Nägeli, Hofmeister, Sachs u. A. behauptet wurde, ob dieselbe auf durch periodisch unterbrochene Ablagerung (Apposition) entstandenen ungleichartigen Schichten beruht, oder in der Folge von homogenen, durch mehr oder minder breite, manchmal verschwindend schmale, lufterfüllte, sich auf dem Quer- oder Längsdurchschnitt der verdickten Zellwand als dunkle Linien darstellende Zwischenräume von einander getrennten Schichten ihre Ursache hat, darüber hat die im vierten Abschnitte zu behandelnde Beobachtung der Entwickelungsgeschichte zu entscheiden.

Für die erste Anschauung der Sache bietet die Beobachtung des Verhaltens fertiger Zustände an sich und gegen Reagentien, welche sich zur Entscheidung derartiger, tief einschneidender Fragen nicht auf mehr vereinzelte, anscheinend noch so günstige Fälle zu beschränken, sondern, ohne sich durch theoretische Deductionen beirren zu lassen, über ein möglichst ausgedehntes Gebiet zu verbreiten hat, wenigstens durchaus keine völlig stichhaltigen, dagegen mancherlei für die theilweise richtige, theilweise zu modificirende (siehe weiter unten) andere Ansicht sprechende Anhaltspunkte. Zur — von der Entwickelungsgeschichte einstweilen absehenden — Zurechtfindung in dieser Frage soll hier nur die Untersuchung einiger weniger fertiger Gebilde behandelt werden, welche von den genannten Forschern als Beweise für ihre Verdickungshypothese vorgeführt wurden.

Digitized by Google

Eines der wichtigeren bildet Caulerpa prolifera [1]) bezüglich der Anordnung der Verdickungsschichten in der Zellwand und den dieselbe durchsetzenden Zellstoffbalken. Diese Anordnung wird von Nägeli und Hofmeister so dargestellt, wie es die nebenstehenden, aus deren Werken (Nägeli und Schwendener: Das Mikroskop. 1. Aufl. II. S. 544, Fig. 219 und 2. Aufl., S. 541, Fig. 239; Hofmeister: Handbuch der physiologischen Botanik, S. 193, Fig. 53) entnommenen Figuren zeigen. Danach sollen die Schichten der Zellwand und der Zellstoffbalken von einander unabhängig und getrennt verlaufen und erstere auf dem Querschnitt durch die Zelle vor den in sich geschichteten Zellstoffbalken abbrechen (Fig. 72, I u. II).

Fig. 72.

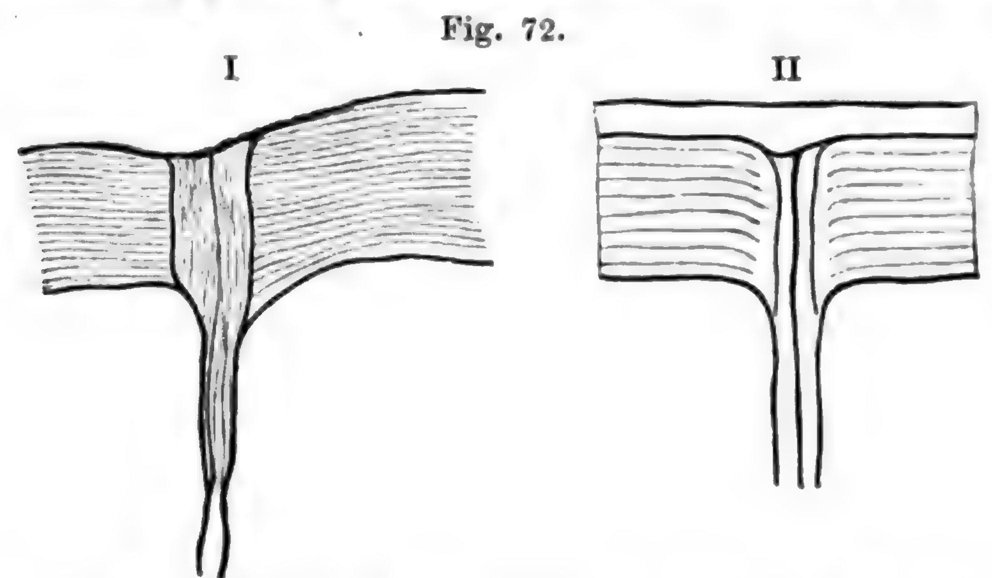


Fig. 72. Copien der Nägeli'schen und Hofmeister'schen Figuren des Querschnittes durch Zellwand und Zellstoffbalken von Caulerpa prolifera.

Um sich über den wirklichen Verlauf der Gesammtschichtung Aufschluss zu verschaffen, hat man dünne Querschnitte, und zwar am besten aus vorher in Wasser aufgequollenem, trockenem oder aus frischem, nach irgend einer der bekannten Methoden eingebettetem Materiale anzufertigen und dieselben einmal ohne weitere Behandlung in gewöhnlichem und polarisirtem Lichte, dann nach der Quellung in Kali etc. zu beobachten.

Fig. 73.

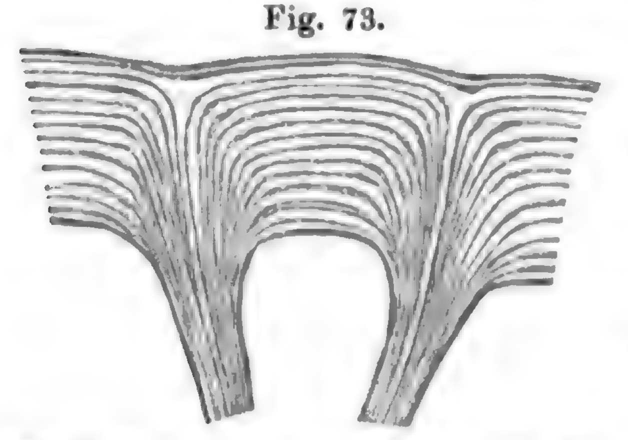


Fig. 73. Querschnitt durch die Zellwand und zwei Zellstoffbalken von Caulerpa prolifera. Vergr. 1 : 240.

Der Querschnitt, welcher einen oder mehrere Zellstoffbalken möglichst genau in der Mitte getroffen hat, zeigt nun folgendes Bild (Fig. 73).

1. Die von der Extracellularsubstanz überlagerte primäre Zellwand und ein innerer, messbar dicker, doppelt contourirter, über die innere Grenze der Zellwand hinaus in die Faser zu verfolgender Zellstofffaden

[1]) Das Object kann man sich leicht trocken aus Herbarien, oder lebend aus der Zoologischen Station in Neapel verschaffen.

Digitized by Google

der Faser, beide stärker lichtbrechend als die übrigen Schichten und daher auch an dem fertigen Zustande nicht leicht zu übersehen, stehen mit einander in ununterbrochener Verbindung und erweisen sich somit als gleichzeitig entstanden.

2. Nirgends werden die Schichten der Zellwand in ihrer Gesammtheit und bis zur Grenze der primären Wand von einer ausgewachsenen Zellstofffaser in ihrer ganzen Mächtigkeit durchsetzt.

3. Die einzelnen Verdickungsschichten, welche innerhalb der primären Zellwand auftreten, biegen in der Nähe des Kernfadens der Zellstofffasern um und setzen sich ohne Unterbrechung in die den letzteren angehörigen Schichten fort, indem sie sich in mehr oder minder hohem und nicht bei allen Schichten gleichem Maasse auskeilen. Jede einzelne von der Zellwand ausgehende Schicht umfasst den Kernfaden der Faser wie die nächst älteren Schichten derselben trichterartig.

Dass dieses Structurverhältniss trichterartiger Einschachtelung mit nach allen Seiten hin ausstrahlenden Umbiegungen in die Zellwandschichten in sich die Ursache trägt, dass bei dickeren Schnitten dasselbe nicht ganz klar zu Tage tritt, braucht wohl kaum besonders erwähnt zu werden. Es bedarf daher hier neben recht feinen Durchschnitten des sorgfältigsten Gebrauchs der feinen Einstellung, um den wahren Sachverhalt herauszufinden.

Schnitte, welche die Zellstofffasern nicht mitten treffen, sondern nach einer Seite derselben hin nur einen Theil davon abheben, während der andere Theil nicht oder fast nicht getroffen wird, können das Bild ebenfalls trüben, geben aber auf der anderen Seite wieder recht

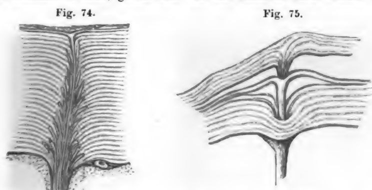


Fig. 74. Querschnitt durch ein altes Stammstück von Caulerpa prolifera. Vergr. 1 : 400. — Fig. 75. Querschnitt aus einem Wurzelfaden von Caulerpa clavifera. Vergr. 1 : 400.

instructive Ansichten (Fig. 74). Besonders lehrreiche Bilder gewähren solche Schnitte, welche die Zellstofffasern einer- oder beiderseits noch etwas weiter ausserhalb der Mitte treffen oder bei denen dieselben schief durchschnitten wurden, und wo — wie dies in manchen Fällen vorkommt — die Schichten durch den Schnitt mehr oder minder aus einander

Digitized by Google

gezogen werden (Fig. 75, a. v. S.). In beiden Fällen tritt namentlich die trichterförmige Ineinanderschachtelung der Schichten deutlich hervor und lässt gar keinen Zweifel an dem wahren Sachverhalte aufkommen.

Fig. 76.

Fig. 76. Querschnitt durch das Stämmchen von Caulerpa perpusilla, mit Kalilauge behandelt (der obere Theil der Zellwand und der Zellstofffaser war durch den Schnitt weggenommen). Vergr. 1 : 240.

Quellungsmittel, namentlich Kalilauge, wirken sehr energisch auf die Schichten und liefern nur in den ersten Stadien gute Bilder. Aber auch derart behandelte, sonst genügende Schnitte können nur dazu dienen, das oben Dargestellte zu bestätigen (Fig. 76).

Bliebe aber nach all dem Beobachteten noch ein Zweifel über das Umbiegen und Uebergehen der Schichten der Zellwand in jene der Zellstofffasern, so ist die Beobachtung in polarisirtem Lichte, wenn dieselbe an recht gelungenen, feinen, die Zellstofffasern in der Mitte treffenden Schnitten ausgeführt wird, im Stande, denselben vollständig zu beseitigen. Schaltet man zwischen den gekreuzten Nicols, also bei verdunkeltem Gesichtsfelde, den Querschnitt so ein, dass die Zellwand wie die Zellstofffaser um 45° gegen die Schwingungsebenen geneigt sind, so erscheinen die in dieser Richtung mehr oder minder genau dahin gehenden Schichten in Wand und Fasern hell aufleuchtend, die Umbiegungsstellen, welche dabei annähernd den Richtungen der Schwingungsebenen

Fig. 77.

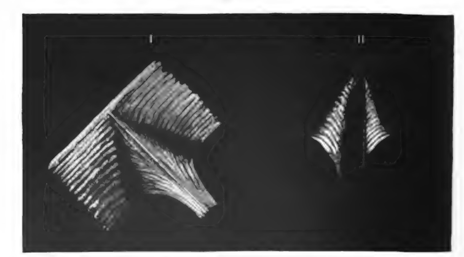


Fig. 77. Querschnitt durch die Wand und einen in diese eingesenkten Zellstoffbalken in polarisirtem Lichte. Orientirung I unter + 45°, II unter 0°. Vergr. 1 : 360.

Digitized by Google

gleichlaufend gerichtet sind, dunkel (Fig. 77, I). Umgekehrt gestalten sich die Lichtverhältnisse, wenn man den Querschnitt so einschaltet, dass die Schichten der Zellwand wie der Faserwand je den Schwingungsebenen parallel verlaufen. Dann erscheinen die sämmtlichen in diesen Richtungen gelegenen Theile der Schichten von Wand und Faserwand dunkel. Dagegen treten die Umbiegungs- resp. Einmündungsstellen von Zellwand- in Faserschichten, welche eine mehr oder minder genau um 45° gegen die Schwingungsebenen geneigte Lage haben, in intensivem Glanze hervor (Fig. 77, II). Besonders charakteristisch ist die Form der leuchtenden oder dunkeln Partien an den Umbiegungsstellen, indem sich dieselbe genau der Grösse der betreffenden Bogentheile anschmiegt, die natürlich um so kleiner werden, je näher die Umbiegungsstellen der primären Zellwand und dem Kernfaden der Zellstofffasern anliegen.

Weitere Beweise für die Differenzirungshypothese erblickt Hofmeister in dem Verhalten der Schichten der verdickten Mark- und Rindenzellen von Hoya carnosa und der Haarzellen von Lavatera trimestris. Erstere, welche übrigens für die Entscheidung der vorliegenden Fragen kein günstiges Object bilden, da ihre Flächen nahezu sphärisch sind und man es nicht in der Gewalt hat, wie das so durchaus nothwendig ist, gerade Durchschnitte der Zellen mit Ausschluss der Deckwände zu erhalten, lassen allerdings das eine von Hofmeister (Pflanzenzelle, S. 192 u. f.) angegebene Verhalten erkennen. Neben Zellen mit mehrfach geschichteten finden sich solche mit einfacher, denjenigen der Holzzellen von Pinus ähnlich gebauten Wänden. An diesen Zellwänden unterscheidet man aber immer drei Schichten, je eine äussere und eine innere, sich in die Porencanäle hineinziehende (Fig. 78, bei *g* und *h*), stärker lichtbrechende, dichtere, d. h. Primär- und Innenwand, und eine mittlere, minder lichtbrechende, mithin weichere.

Fig. 78.

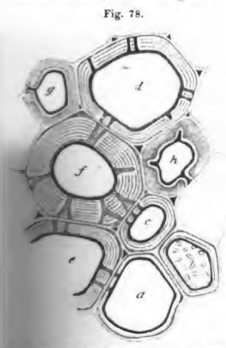


Fig. 78. Querschnitt durch eine Gruppe von Steinzellen in dem Marke von Hoya carnosa. Vergr. [illegible]

Gleiche Structurverhältnisse zeigen Zellen mit verschiedener Dicke der Zellwand in jüngeren, wie in älteren Stengelgliedern, woraus hervorgeht, dass dasselbe, wo es einmal in einer Zelle vorhanden ist, auch ferner so

Digitized by Google

verbleibt. Wollte man nun annehmen, es hätten sich aus derartig verdickten Zellen junger Stengelglieder später mehrfach geschichtete Zellen durch Spaltung der mittleren Schicht entwickelt, so müssten sich in diesem Falle in der wasserreichen Zellstoffmodification wasserärmere Schichten durch nachträgliche Differenzirung herausgebildet haben. Nun wird aber von Hofmeister in Uebereinstimmung mit Nägeli überall angenommen, dass sich aus den wasserärmeren Schichten durch Differenzirung wasserreiche Schichten ausspalten. Das vorliegende Object lässt sich also unter der gemachten Voraussetzung nicht wohl für die Nägeli'sche Theorie des Wachsthums verwerthen. Die andere Angabe, dass, wo Schichten auftreten, sofort fünf und nicht weniger vorhanden seien, lässt sich dagegen keineswegs bestätigen. An guten Quer- und Längsschnitten durch die betreffenden Zellen des Markes, die hier allerdings schwer zu erhalten sind, aber keineswegs durch „optische Querschnitte" der Zellen dicker Schnitte ersetzt werden können, wird man Zellen mit nur einer, mit zwei, drei und vier secundären Zellwandgenerationen (Fig. 78, *a* bis *f*, a. v. S.), nach der Hofmeister'schen Auffassung also mit drei, fünf, sieben und neun Schichten finden. Diese markiren sich allerdings nicht sehr scharf, allein sie sind doch zu erkennen und namentlich leicht durch die Quellung in Aetzkalilösung nachzuweisen. Ein ganz gleiches Verhalten zeigen auch andere, stark verdickte, geschichtete Parenchymzellen, wo dieselben in verschieden weit fortgeschrittenen Entwickelungszuständen der Verdickung dicht neben einander vorkommen. Nur dass hier in Folge eines grösseren Unterschiedes in dem Brechungsvermögen, d. h. der Dichtigkeit der beiden Lamellen der Schichten, diese weit deutlicher hervortreten. Hier mag noch erwähnt werden, dass die Innenwand der jüngsten Zellwandgeneration meist etwas breiter und stärker glänzend erscheint, als diejenigen der älteren. Dies ist aber offenbar eine in optischen Verhältnissen und nicht in der Structur begründete Erscheinung. Denn wenn die Schichten durch die Präparation von einander getrennt und aus einander gezerrt werden, so zeigt sich das gleiche Verhältniss bei jeder an grössere, freie Räume angrenzenden Schichtengruppe. Die Angabe bezüglich der sternförmig angeordneten Haarzellen des Stengels und der Blätter von Lavatera trimestris, welche an geeigneten Flächenschnitten zu prüfen sind, stimmen mit dem wahren Sachverhalte nicht überein. Die stärksten Haare besitzen 13,5 μ dicke Wände, und es erscheinen dieselben, wie dies in den durch die Gestaltung des Objectes bedingten optischen Verhältnissen (Brechung und Zurückwerfung) begründet ist, bis etwa zu $^2/_3$ nach dem Rande hin sehr deutlich, weiter nach aussen weniger deutlich geschichtet. Die Anzahl der Doppelschichten betrug hier acht bis neun. Ebenso deutlich wie diese und in dem eben angedeuteten Verhältnisse sind aber auch Zellwände geschichtet, welche nur 5 bis 5,7 μ messen; und an Haarzellen mit einer Wandstärke von 3,57 μ lassen sich ohne Mühe zwei bis drei Doppelschichten unterscheiden. An ganz jungen Haaren zeigt sich bei einer

Digitized by Google

Dicke der Zellwand von 2,18 bis 3,60 μ immer eine Doppelschicht innerhalb der Primärwand und hatte dabei die mittlere weiche Schicht eine um so grössere Breite, je grösser das ganze Ausmaass war. Man kann also auch bei den noch dünnen Zellwänden dieses Objectes immerhin schon drei Schichten im Sinne Nägeli's und Hofmeister's, d. h. eine mittlere weiche und je eine äussere und innere dichtere Schicht beobachten.

Soll die Frage entschieden werden, inwieweit die sichtbare Schichtung auf der Aufeinanderfolge gleichartiger, gleich stark lichtbrechender Schichten oder auf dem Wechsel von wasserarmen und wasserreichen, d. h. stärker und schwächer lichtbrechenden Schichten beruht, mit anderen Worten, ob die dunklen Streifen die einzelnen Schichten trennende, messbar breite, lufterfüllte Zwischenräume oder ob dieselben Dichtigkeitsstreifen bilden, durch welche, da bei dicht aneinander grenzenden, gleich dichten, also gleich stark brechenden Schichten, die von Strassburger zur Erklärung herangezogenen „Contactflächen" aus optischen Gründen ausgeschlossen erscheinen, etwa das beobachtete Bild hervorgerufen werden könnte, so muss zu den Mitteln gegriffen werden, welche als geeignet für die Erkenntniss der Reliefverhältnisse empfohlen wurden (H., S. 852 bis 856; G., S. 487).

Möglichst zarte, zur Zellenachse genau senkrecht geführte Querschnitte solcher Zellen, bei denen die Schichtung recht stark ausgeprägt ist und wo etwa durch die Schichten verlaufende Porencanäle mit als Anhaltspunkte dienen können, z. B. der Markzellen älterer, noch lebender Clematisstengel, der Bastfasern mancher Begonienarten und Cacteen, der verdickten Parenchymzellen, aus Rinde und Mark von Hoya u. s. w. sind zu dem Ende unter Wasser sowohl, als unter stärker lichtbrechenden Flüssigkeiten, wozu sich unter anderen Canadabalsam und Anisöl empfehlen, zu betrachten. Hierbei ist zu beachten, dass die betreffenden Präparate, wegen der immerhin möglichen, allmäligen Durchdringung der Zellwand auch mittelst dieser Umhüllungsmittel, sofort zu beobachten sind, und dass dieselben nicht zu trocken sein dürfen, weil dadurch auch blosse Streifen einer vorher wasserreicheren Substanz zu Vertiefungen werden können. Man verwendet dieselben am besten frisch und aus nicht im Safte stehenden Pflanzen entnommen. Dann ist in der Regel kein so grosser Feuchtigkeitsgehalt vorhanden, dass die tadellose Umhüllung der Oberfläche und das Eindringen von den genannten Zusatzflüssigkeiten in die leeren Räume ein Hinderniss erführe, während andererseits der Durchdringung der Zellwand mittelst jener Substanzen durch den vorhandenen Wassergehalt eine Schranke gesetzt ist und eine störende Eintrocknung nicht befürchtet zu werden braucht.

Tritt bei derartig wechselnder, unter voller Beachtung der eben gegebenen Winke vorgenommener Beobachtung keine Aenderung in den mittelst Betrachtung unter Wasser gewonnenen Anschauungen ein, wie man es bei den verschieden dichten Schichten der in (Fig. 79, II u. III)

Digitized by Google

abgebildeten, theils in Alkohol aufbewahrten, theils lebenden Pflanzentheilen entnommenen Zellen beobachtet, so darf man mit Sicherheit auf Dichtigkeitsunterschiede in der Substanz als die Schichtung bedingend schliessen. Macht sich dagegen eine derartige Aenderung geltend, dass

Fig. 79.

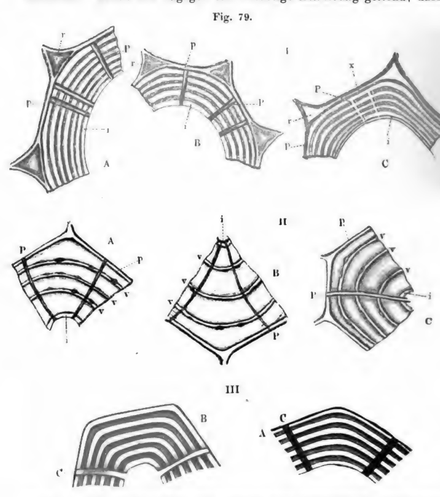


Fig. 79. Zellen mit geschichteten secundären Verdickungen unter verschiedenen Zusatzflüssigkeiten. I Theile aus Querschnitten von alten eingetrockneten Markzellen der Clematis Vitalba. A unter Wasser, B unter Canadabalsam, C unter Anisöl betrachtet. II desgl. von einer Bastzelle der Urania guyanensis. A, B, C wie oben. III Querschnitt einer Bastzelle von Begonia (Gartenvarietät). A und B wie A und C in I; *p*, *s*, *i* primäre, secundäre und innere Wandschichten, *P* Porencanäle, *r* Intercellularräume, *v* die optisch differenten (dichteren) Schichten der secundären Verdickungsschichten. In der Fig. I C sind die Lichtverhältnisse gegen A und B vertauscht, indem die Zwischenräume heller, die Zellstoffschichten dunkler erscheinen. Bei *x x* in I C sind die Zellen aus einander getreten und die Zwischenräume mit Anisöl erfüllt. Vergr. 1 : 1200.

bei Betrachtung unter dem der Cellulose an Brechkraft sehr nahe stehenden Canadabalsam die Streifung nahezu verschwindet, oder dass unter Anisöl,

Digitized by Google

welches eine stärkere Brechkraft als Cellulose besitzt, die Reliefverhältnisse sich umkehren, wie es, soweit meine Beobachtungen reichen, normal bei den geschichteten Zellen der Fall ist, bei denen unter Umständen ursprünglich nur dichte Schichten vorhanden sind [wie es aber auch — und dies ist, um Täuschung und falsche Deutung zu vermeiden, wohl zu beachten — da vorkommt, wo die minder dichten Schichten in Folge des Eintrocknens nicht mehr sichtbar sind, während die dichteren sich von einander getrennt haben (Fig. 79, I)], so muss als Grund der sichtbaren Schichtung eine blosse Unterbrechung gleichartiger Schichten angenommen werden.

Man hat zum Beweise der Differenzirung anfangs homogener Zellwände in wasserreichere und wasserärmere Schichten auch die Quellungserscheinungen herangezogen, welche entweder durch Wasser (bei den Zellen der Samendecken von Cydonia, von einzelnen Cruciferen und Polemoniaceen), oder durch die oben erwähnten Reagentien hervorgerufen werden, und in Folge derer bei einem gewissen Grade der Einwirkung einerseits die Schichtung deutlicher hervortritt, andererseits aber auch die als dichtere (wasserarme) angesprochenen Schichten in feinere Lamellen zerlegt werden. Hier ist nun zunächst zu beachten, dass diese Erscheinungen bei gleichartigen Schichten verschieden gedeutet werden können, je nachdem man eben von verschiedenen Voraussetzungen über die feinere Structur der Zellwand, also von verschiedenen, immerhin theoretischen, physikalischen Prämissen ausgeht, welche offenbar gleiche Berechtigung haben. In dieser Beziehung lässt sich also die Quellung nicht mit Erfolg verwerthen. Dagegen erlangt sie Bedeutung, wenn es zu ermitteln gilt, ob eine Zelle gleichartige oder ungleichartige Schichten gebildet hat, und welcher Unterschied für letzteren Fall in der Dichtigkeit der beiden je eine Schicht zusammensetzenden Lamellen vorhanden ist. Für einen gegebenen Fall, in dem andere Beobachtungsweisen keinen genügenden Aufschluss geben, hat man dann zu ermitteln, in welcher Weise die Quellung erfolgt. Macht sich die Breitenzunahme vorzugsweise oder allein in den schwächer lichtbrechenden, matter gezeichneten Partien geltend, wie es an feinen Querschnitten durch die Markzellen von Clematis bei der Quellung in Schwefelsäure zu beobachten ist (Fig. 80, I, A, B u. C, a. f. S.), so erweisen diese sich als die weniger dichten. Tritt dagegen eine immerhin — und zwar je nach der Dichtigkeit mehr oder minder — geringe Zunahme der Breite nur in den stärker lichtbrechenden Partien auf, wie in manchen verdickten Rindenparenchym- und Markzellen (sogenannten Steinzellen) (Fig. 80, II, A bis C), während die dunklen Schichtungslinien keine Veränderung oder doch keine Verbreiterung erleiden, oder dieselben erst während der Quellung sichtbar werden, wie in der breiten, schwächer lichtbrechenden mittleren secundären Verdickung vieler Holzfasern, den ähnlichen breiten, zwischen den stärker brechenden Schichten liegenden Wandtheilen der Bastfasern von Caryota urens u. a. (Fig. 71 auf S. 135), so wird dadurch

Digitized by Google

Fig. 80.

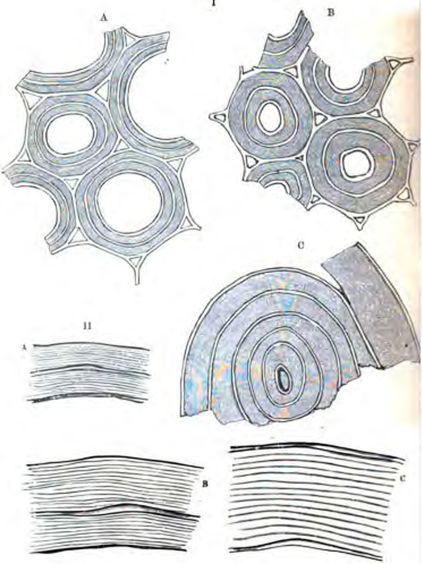


Fig. 80. I unter dem Einflusse von Schwefelsäure gequollene Schichten der **Markzellen** von Clematis, A nach kürzerer, B und C nach längerer Einwirkung. II desgl. aus einer verdickten Parenchymzelle in der Umgebung der Gefässbündel von Urania, wobei die ursprünglich homogen erscheinenden Schichtencomplexe in die einzelnen gleichartigen Schichten zerlegt sind. A und B zwei Schichtencomplexe, C ein Complex. Vergr. 1 : 500.

Digitized by Google

das Vorhandensein gleichartiger, wenn auch nicht immer vor der Quellung mittelst unserer optischen Hülfsmittel sichtbar getrennter Schichten dargethan. Um die letztere Aufgabe mit Sicherheit zu lösen, achte man darauf, dass die betreffenden, möglichst feinen Querschnitte genau senkrecht geführt werden, was bei in die Länge gestreckten Zellen leicht ausführbar ist. Schiefe Schnitte durch fadenförmige oder cylindrische, ebenso Diametralschnitte durch sphäroidische Zellen, namentlich dann, wenn diese nicht möglichst annähernd ein mittleres Plättchen bilden, veranlassen nämlich leicht Täuschungen, indem bei gleichartigen Schichten die geneigten Seitenwände dieser unter Umständen sich optisch ähnlich verhalten können, als ob Lamellen von ungleicher Dichtigkeit vorhanden wären. Dieser störende Factor lässt sich indessen da, wo er nicht umgangen werden kann, leicht in Rechnung ziehen, wenn man das Verhalten derjenigen Stellen genau beachtet, an denen die Schichten während der Quellung radial eingerissen werden.

Hat man passende Querschnitte der Einwirkung des entsprechenden Reagenses ausgesetzt, so gilt es, die verschiedenen Momente der Quellung in Bezug auf die auftretenden Veränderungen in der Breite der verschieden brechenden Lamellen festzuhalten, was entweder mittelst auf einander folgender Messungen oder durch genaue Zeichnung der verschiedenen Quellungszustände zweier benachbarter, fest ins Auge gefasster Schichten geschieht. Wird die Quellung rechtzeitig dadurch unterbrochen, dass man die Objecte rasch in eine grössere Menge Wassers bringt, so lassen sich derartige Präparate, welche in der Regel in ihren Zellen verschiedene Quellungszustände zeigen, in diesen festhalten, sowie nach Umständen und Bedürfniss mittelst einer entsprechenden, erforderlichen Falles auszuprobirenden Färbeflüssigkeit färben und in Canadabalsam, Dammarlack oder dem Hoyer'schen Mittel aufbewahren. Man erhält dann, namentlich auch bei gefärbten Präparaten, wo die mehr oder minder stark gequollenen weicheren Schichtenblätter sich weit tiefer färben, als die nur wenig gequollenen wasserärmeren, Bilder, welche manchen falschen neueren Darstellungen gegenüber den wahren Sachbestand kundgeben können. Dieselben gewähren den entschiedenen Beweis dafür, dass bei derjenigen Schichtung der Zellwand, bei welcher die einzelne Zellwandgeneration (Schichten) durch verhältnissmässig breite, dunkle Ringstreifen von einander abgehoben erscheinen, diese aus einer äusseren, weniger dichten, und einer inneren dichteren Lamelle bestehen und dass hier jene dunklen concentrischen Ringe eben nicht der Ausdruck von Adhäsionsflächen sind.

Die Lehr- und Handbücher der älteren und neueren Zeit von Schleiden, H. v. Mohl, Unger u. Schacht, Hofmeister, Sachs, Wiesner, Zimmermann u. A. besprechen diese Verhältnisse bei der Structur und Verdickung der Zellwand.

H. v. Mohl: 1. Erläuterung und Vertheidigung meiner Ansicht von der Structur der Pflanzensubstanz, 1836. 2. Ueber den Bau der vegetabilischen

Digitized by Google

Zellmembran. Vermischte Schriften, S. 314. 3. Einige Bemerkungen über den Bau der vegetabilischen Zelle. Botanische Zeitung 1844, S. 273. 4. Ueber das Wachsthum der Zellmembran. Botanische Zeitung 1846, S. 337. 5. Untersuchung der Frage, bildet die Cellulose die Grundlage der etc.? Botanische Zeitung 1847, S. 497.

Harting, in Mulder: Versuch einer physiologischen Chemie und Botanische Zeitung 1846, S. 64. (Auszug aus Scheikondige Onderzoekingen.) — Botanische Zeitung 1847, S. 237. Brief an H. v. Mohl.

Dippel: 1. Beiträge zur Lösung der Frage: Kommt der Zellmembran bloss ein Wachsthum von aussen nach innen zu, oder besitzt dieselbe zugleich ein solches von innen nach aussen? Botanische Zeitung 1851, S. 499. 2. Das Mikroskop. 2. Bd., 1869, S. 65. 3. Einige Bemerkungen über die Structur der Zellhülle von Pinus silvestris. Flora 1874, S. 266; 1875, S. 161. 4. Die neuere Theorie über die feinere Structur der Zellhülle. Abhandl. d. Senkenb. Gesellsch. Bd. X, S. 181 und Separatabdruck, 1878.

Schacht: Beiträge zur Anatomie und Physiologie, S. 235. Ueber die Verdickungsweise der Zellwand. 2. Erfolgt die Bildung der Verdickungsschichten auf der Aussenseite der primären Zellwand etc.?

Nägeli: Ueber den inneren Bau der vegetabilischen Zellmembran. Sitzungsbericht der königl. bayerischen Akademie der Wissenschaften 1864. 1. IV, S. 282, und 2. II, S. 114.

Sanio: Anatomie der gemeinen Kiefer. Pringsheim's Jahrb., Bd. IX, S. 50 und Flora 1874, S. 549; 1875, S. 314.

Schmitz: Ueber Bildung und Wachsthum pflanzlicher Zellmembranen in: Verhandl. d. naturhist. Ver. d. preuss. Rheinl. u. Westph. 1880, S. 250.

Strassburger: 1. Ueber den Bau und das Wachsthum der Zellhäute. Jena 1882 und folgende Auflagen. 2. Das botanische Praktikum, 1884 u. 1887. 3. Das kleine botanische Praktikum, 1885 u. 1893.

Pfortscheller: Ueber die Innenhaut der Pflanzenzelle nebst Bemerkungen über offene Communication zwischen den Zellen. Gymnasialprogramm. Wien 1883.

Berthold: Studien über Protoplasmamechanik. Leipzig 1886, S. 258 und 314.

Krabbe: Ein Beitrag zur Structur und des Wachsthums vegetabilischer Zellhäute in Pringsheim's Jahrbücher, Bd. XVIII, Heft 3, 1887.

Zimmermann: 1. Die Morphologie und Physiologie der Pflanzenzelle, 1887. 2. Die botanische Mikrotechnik, 1892.

Correns: Zur Kenntniss der inneren Structur der vegetabilischen Zellmembranen. Pringsh. Jahrb., XXIII, Heft 1 u. 2, 1891.

c) Formen der secundären Verdickung.

Die secundäre Verdickung bildet bei allseitiger Ablagerung wohl selten ganz zusammenhängende Lamellen, wie es bei der einseitigen Verdickung häufig vorkommt. Wie die Beobachtung von Quer- und Längsschnitten derart verdickter Zellen lehrt, erscheinen immer einzelne, mehr oder minder ausgedehnte Strecken der Wandung, von der Primärwand oder der Innenwand allein gebildet, also nach dem üblichen Sprachgebrauche, „unverdickt". Die Formen, unter denen die Verdickung auftritt, sind mannigfacher Art, doch lassen sich im Allgemeinen die

Digitized by Google

ringförmige, spiralige, netzförmige, poröse und siebförmige als Hauptformen unterscheiden.

Zum Studium der verschiedenen Form- und Structurverhältnisse der secundären Verdickung im Allgemeinen müssen für Parenchym, Holz und Bast sämmtliche drei Arten von höchst gelungenen Schnitten, bei den Blattgebilden neben Durchschnitten Streifen der Oberhaut, welche entweder mittelst einer Pincette abgezogen oder durch einen Flächenschnitt gewonnen sind, verwendet werden. Ausserdem aber ist es erforderlich, die betreffenden Zellen sowohl zur Beobachtung des rein optischen Verhaltens, als der Reactions- und Quellungserscheinungen durch Maceration aus ihrem Verbande zu lösen, unter dem einfachen Mikroskope auszusuchen und durch Drehung um ihre Achse von allen Seiten zu betrachten.

Wo die secundäre Verdickung in so geringer Mächtigkeit abgelagert ist, dass man die „unverdickten“ Stellen netzförmiger und poröser Zellen nicht klar und scharf genug erkennt, da gewährt die Färbung der Zellwand mittelst Chlorzinkjodlösung, Jod-Jodkaliumlösung und Schwefelsäure oder einer der bekannten Färbeflüssigkeiten, unter Umständen auch die Doppelfärbung in der Regel die gewünschte Aufklärung, indem die verdickten Stellen eine intensivere, die verdünnten eine schwächere, keine, oder bei letzterer auch unter Umständen eine von jener der ersteren verschiedene Färbung zeigen.

Ringförmige Verdickung.

Die ringförmige Verdickung der Zellwand tritt nur hier und da in parenchymatischen und faserförmigen Zellen auf, so z. B. in den Zellen des Blattes von Sphagnum und der Kapselwand der Lebermoose, wo sie neben der folgenden erscheint, in den Zellen des Parenchyms und Holzes mancher Cacteen u. s. f. Häufiger findet sie sich in den ältesten zuerst entstandenen Röhrenzellen (Gefässen) der Phanerogamen und höheren Kryptogamen.

Es bildet hier die Ablagerung eine in sich selbst zurücklaufende, bald ganz horizontale, bald geneigte Schicht, welche meistens mehr bandförmig erscheint (Fig. 81, I, a. f. S.), hier und da aber auch sich plattenartig mehr oder minder weit in das Innere der Zellen erstreckt, wie z. B. bei den Holz- und Parenchymzellen vieler Cacteen (Fig. 81, II). Die Stellung der Ringe selbst wechselt mannigfach, bald stehen sie in regelmässiger Reihenfolge in weiteren oder kürzeren Abständen, bald ist die Reihenfolge eine mehr unregelmässige und es wechseln kürzere mit weiteren Abständen ab (Fig. 81, III). Sehr oft geht in ein und derselben Zelle die ringförmige Verdickungsweise in die spiralige über, wofür sich in den Parenchymzellen der Opuntien, namentlich aber in den Gefässen der meisten Monokotyledonen (Canna, Tradescantia, Musa u. s. w.), der

Digitized by Google

wilden (Impatiens noli tangere) und Gartenbalsamine (Balsamina hortensis), des Kürbis u. s. w. zahlreiche Beispiele finden (Fig. 81, IV).

Fig. 81.

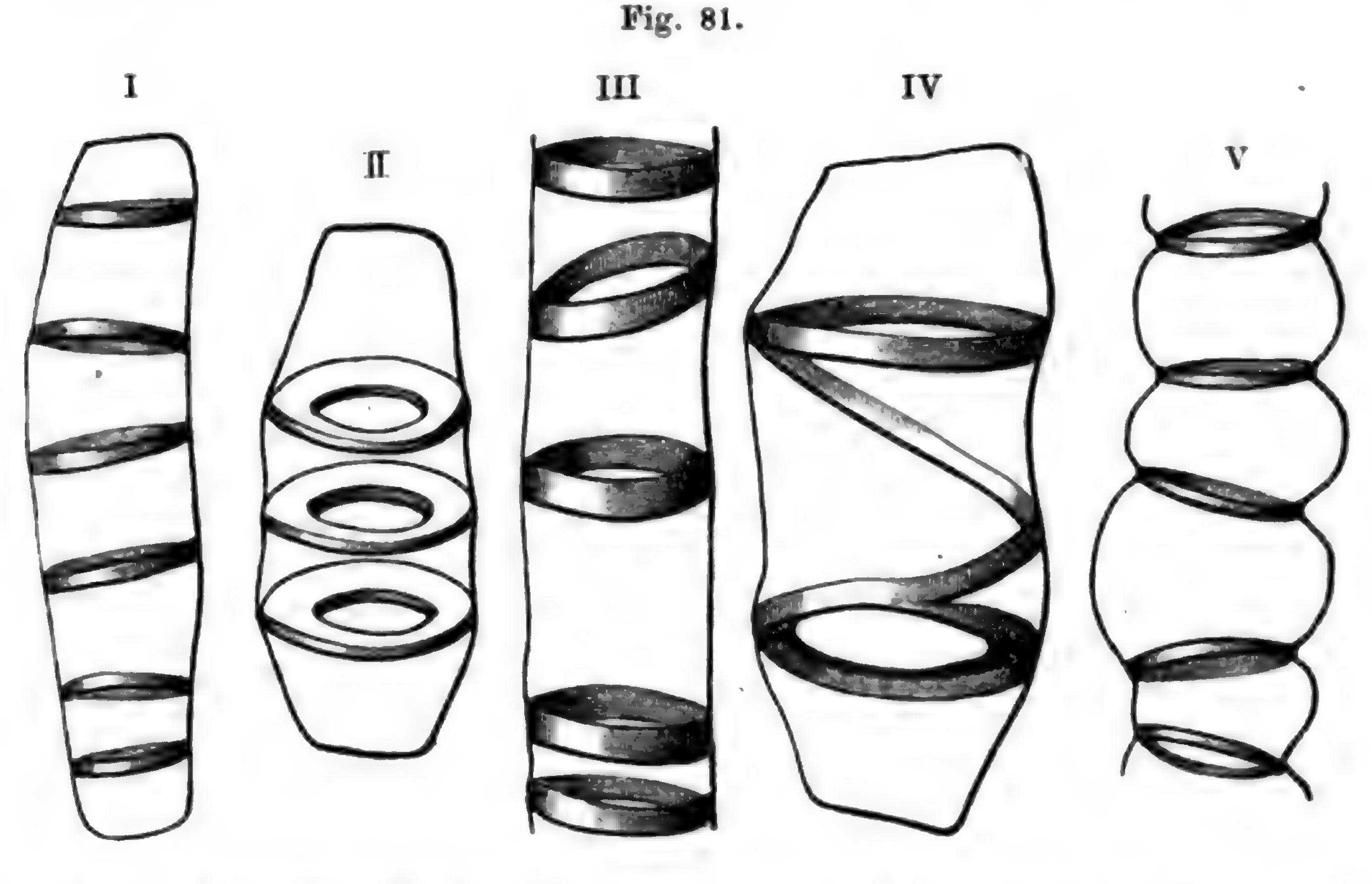


Fig. 81. Verschiedene Ringzellen. I aus der Kapselwand von Pellia epiphylla mit dünnen Verdickungsschichten. II aus der Opuntia Tuna mit plattenförmigen Ringen. III aus Arundo donax mit in verschiedener Weite und verschiedener Neigung gestellten stark verdickten Ringen. IV aus Opuntia, mit Ringen, welche in ein Spiralband übergehen. V aus Balsamina hortensis mit tonnenartig erweiterter primärer Wand zwischen den Ringen. Vergr. 1 : 400.

Einen eigenthümlichen Bau der Ringgefässzellen beobachtet man häufig bei Musa, den Balsaminen, Dahlia und anderen rasch und stark in die Länge wachsenden Pflanzen, indem dieselben zwischen den Verdickungsringen eigenthümlich tonnenförmig angeschwollen sind (Fig. 81, V).

Spiralige Verdickung.

Spiralbänder.

Die spiralige Verdickungsweise (Fig. 82), welche manchmal nur einseitig, d. h. derart ausgebildet ist, dass sie auf einer oder der anderen Seite der betreffenden Zelle in eine homogene secundäre Verdickung übergeht (Zellen der Lebermooskapsel- und Antherenwände), tritt sowohl in parenchymatischen, als in Röhrenzellen, ausserdem in den Schleudern der Lebermoose sehr schön entwickelt auf.

Von den ersteren gewähren die schon erwähnten Zellen des Sphagnumblattes, die unter der Epidermis der Antheren liegenden grossen Spiralfaserzellen (sehr schön bei dem Kürbis, der Lilie, Tulpe), ferner die Zellen aus den Samendecken mancher Labiaten (Salvia, Ocimum u. s. w.),

Digitized by Google

Compositen (Taraxacum), Polemoniaceen, Laurineen und Hydrocharideen schöne Beobachtungsobjecte, von denen man die letzteren am besten

Fig. 82.

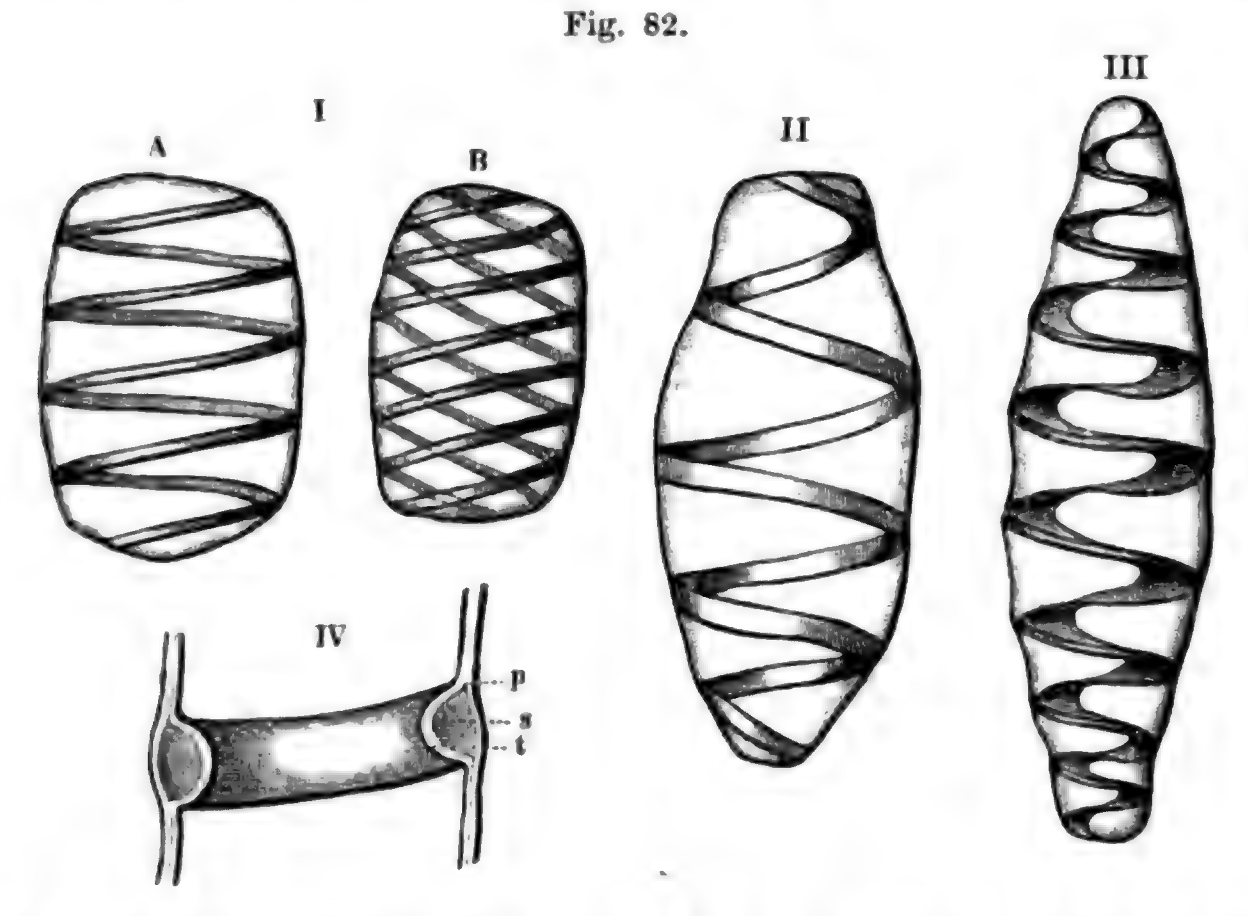


Fig. 82. Verschiedene Spiralfaserzellen. I, A und B aus der Antherenwand von Cucurbita pepo mit einfachem und doppeltem Spiralbande; II aus Opuntia Tuna mit stark verdicktem, III aus Mamillaria spec. mit plattenförmigem Spiralbande. IV Theil des Längendurchschnitts einer Spiralgefässzelle von Impatiens, um die Structur des Spiralbandes zu zeigen. *p* und *t* primäre und tertiäre Zellhülle, *s* secundäre Verdickungsschicht. Vergr. I bis III 1 : 400, IV 1 : 1000.

unter Alkohol untersucht, weil das Wasser Quellungserscheinungen hervorruft, welche die Beobachtung stören. Unter den Gefässzellen sind es die der Markscheide zunächst gelegenen, im Alter den ringförmig verdickten folgenden, welche spiralige Verdickungsschichten bilden. Sehr weite Spiralgefässzellen findet man vorzugsweise in den Monokotyledonen (Musa, Canna, Arum, Scindapsus, Phragmites, Tradescantia, Hyacinthus u. s. w.), sodann in den Balsaminen.

Man hat bei der spiralförmigen Verdickung vorzugsweise auf die in derselben Zelle auftretende Anzahl der Spiralbänder, die Neigung und Richtung ihrer Windungen zu achten. Die Zahl der Spiralbänder kann von einem bis zu acht bis zehn und mehr betragen und treten von der Zweizahl ab zwischen den Windungen auf der dem Beobachter zugewendeten und der ihm abgewendeten (der vorderen und hinteren) Wandfläche Kreuzungen ein, welche häufig den Schein erwecken können, als ob dieselben auf derselben Wandfläche vorhanden und durch wirklich sich kreuzende Bänder veranlasst seien (Fig. 82, II). Die Neigung zeigt sich als eine bald mehr, bald minder steile, und kann selbst in eine beinahe senkrechte Stellung übergehen. In einzelnen Fällen erscheint sie sogar veränderlich, indem sie entweder an verschiedenen Seiten (vorn und

Digitized by Google

hinten z. B.) oder auf verschiedenen Höhen derselben Zelle wechselt. Die Windungsrichtung ist — auf das mikroskopische Bild bezogen — in den meisten Fällen eine linksläufige, d. h. es steigt die Spiralfaser von oben betrachtet von rechts nach links in die Höhe. (Andere Schriftsteller nennen diese Richtung rechtsläufig, indem sie die Steigung auf die Achse der Spirale beziehen und z. B. eine Spirale für rechts gewunden erklären, wenn man beim Aufsteigen jene zur Rechten hat. Ich halte indessen die gebrauchte Bezeichnungsweise für die anschaulichere.) In mehr vereinzelten Fällen trifft man jedoch auch auf rechts gewundene, d. h. von der Linken zur Rechten aufsteigende Spiralen, und zeigt sich sogar ein Wechsel der Richtung in verschiedenen Zellen derselben Pflanze, mögen dieselben der nämlichen senkrechten Zellenreihe oder verschiedenen Zellenreihen angehören.

Spiralstreifung.

Eine eigenthümliche spiralige Verdickung trifft man in den eigenartige Verengerungen und Erweiterungen des Hohlraumes zeigenden Bastfasern der Apocyneen und Asclepiadeen, ferner in denen der Urticeen, von Larix, Calamus, Rotang u. s. w., in den engeren Gefässen und Holzfasern von Clematis, den Holzfasern der Coniferen, und zwar vorzugsweise in dem äusseren Theile des Jahresringes, hier und da aber, und dann besonders schön, auch in abnorm verdickten Zellen der inneren Theile einzelner, sich auf dem Durchschnitt mittelst röthlicher Färbung kenntlich machenden Jahresringe des Astholzes, endlich in den schwach verdickten Parenchymzellen der Dahliaarten — hier jedoch nicht immer — an. Hier sind die spiralig verlaufenden Verdickungsschichten in schmäleren oder breiteren, eine bald kleinere, etwa 10° bis 17° bis etwas über 30° betragende (Bastfasern der Asclepiadeen und Apocyneen), bald eine grössere bis etwa 45° umfassende Neigung gegen die Längsachse der Zelle zeigenden Bändern abgelagert, und lassen meist nur ganz schmale, gleichsam streifenartige, stellenweis auch etwas breitere unverdickte Stellen zwischen sich. Man hat diese Verdickungsweise, welche einzelne Forscher, wie Meyen, Crüger, Agardh, zu der Ansicht verleitete, dass die Zellwand aus sogenannten Primitivfasern zusammengesetzt sei, als Spiralstreifung bezeichnet.

Bei dieser Verdickungsform, zu deren Beobachtung man gute Längsschnitte, sowie durch Maceration getrennte Zellen zu verwenden hat, kommt für einzelne Arten aus den erstgenannten Familien (Nerium, Vinca) in verschiedenen Schichtencomplexen, welche auch schon auf dem Querschnitte deutlich in der auf S. 134 geschilderten Weise von einander abgegrenzt erscheinen, links und rechtswendige Aufsteigung vor, so dass man bei gewisser Einstellung Bilder erhält, welche der Nägeli-Hofmeister'schen Ansicht von einer wirklichen Kreuzung der Spiralbänder in ein- und derselben Verdickungsschicht (Zellwandgeneration) einen ge-

Digitized by Google

wissen Vorschub leisten (Fig. 83, I). Bei anderen, z. B. Asclepias syriaca (ob immer?), bei den Bastfasern von Calamus, sowie bei den Holzfasern erscheint nur eine einseitswendige Spirale (Fig. 83, II, III u. IV) und eine Kreuzung tritt nur scheinbar auf, wenn man bei Macerationsproducten,

Fig. 83.

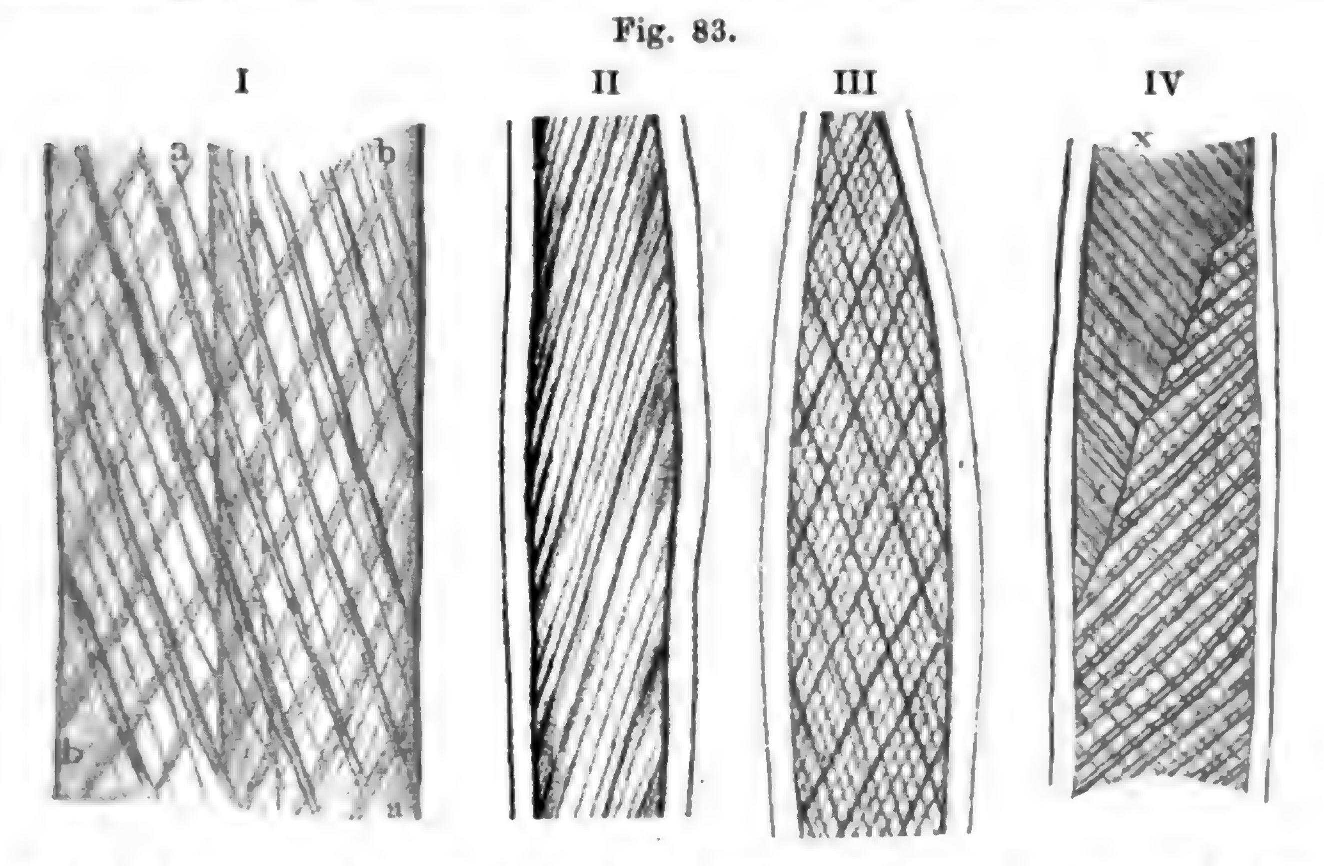


Fig. 83. Streifung der Zellwand. I Theil einer Bastzelle von Nerium Oleander, *a a* die links aufsteigenden Spiralbänder des äusseren, *b b* jene des inneren secundären Schichtencomplexes. II Theil einer Bastzelle von Asclepias syriaca bei Einstellung auf die untere, durch den Schnitt frei gelegte Zellhälfte. III desgleichen bei Einstellung auf die Mittelebene. IV Bruchstück einer abnorm verdickten Holzzelle aus dem inneren Theile des Jahresringes von Pinus silvestris (Astholz) mit rechts aufsteigendem, den inneren secundären Schichten angehörendem Spiralbande. Bei *x x* wird nur die untere Wand der theilweise durchschnittenen Zelle gesehen. Vergr. II und III 1 : 500, I und IV 1 : 900.

die in der Regel etwas zusammenfallen, etwa auf den optischen Durchschnitt der Zelle eingestellt hat (Fig. 83, III u. IV).

Zur Erkenntniss der hier obwaltenden Structurverhältnisse ist ein sorgfältiger Gebrauch der feinen Einstellung auf das Dringendste zu empfehlen. Für die Beobachtung der ersteren, d. h. der durch in je einem äusseren und einem inneren Schichtencomplex von gegenläufigen Spiralbändern gebildeten Form der Streifung eignen sich besonders isolirte Bastfasern von Nerium Oleander. Wählt man eine mittlere Einstellungsebene, so dass diese den sich berührenden Grenzflächen der beiden Schichtencomplexe sehr nahe liegt, so erscheinen zwei gleich und annähernd scharf begrenzte Streifensysteme in Kreuzung und rufen eine Felderung hervor, welche den Anschein gewährt, als ob die Zellwand aus abwechselnd stärker und schwächer lichtbrechenden rhombischen Prismen zusammengesetzt sei. Aendert man aber die Einstellung, so wird das Bild sofort ein ganz anderes. Beim allmäligen Heben des Tubus tritt endlich an den stärker verdickten Fasern und namentlich an den engeren Stellen das in dem äusseren Schichtencomplex gelegene,

Digitized by Google

links aufsteigende Streifensystem allein ohne Sichtbarkeit des anderen, oder an weniger stark verdickten Fasern ersteres allein scharf begrenzt hervor, während das dem inneren Schichtencomplexe angehörige nur noch, und zwar mit den breiteren dunklen Streifen, verschwommen durchscheint. Beim allmäligen Senken des Tubus findet eine Umkehrung des Verhältnisses statt, indem jetzt das innere Streifensystem nur allein, oder allein scharf begrenzt, das äussere dagegen nicht oder nur matt und verschwommen gesehen wird. Einstellung auf die Mittelebene des Hohlraumes ruft eine verschwommene Zeichnung hervor und lässt von den Streifensystemen kaum mehr etwas Sicheres erkennen. Ein noch weiteres Senken des Tubus bringt zuerst das innere Streifensystem für sich, dann die annähernd scharfe Kreuzung, endlich das äussere Streifensystem zur Entwickelung, ohne dass aber die Bilder die volle Schärfe erreichen, welche diejenigen oberhalb der Mittelebene besitzen.

Zum Studium der zweiten, durch ein Streifensystem hervorgerufenen Form verwende man die eigenthümlich verdickten, nur in der Primär-

Fig. 84.

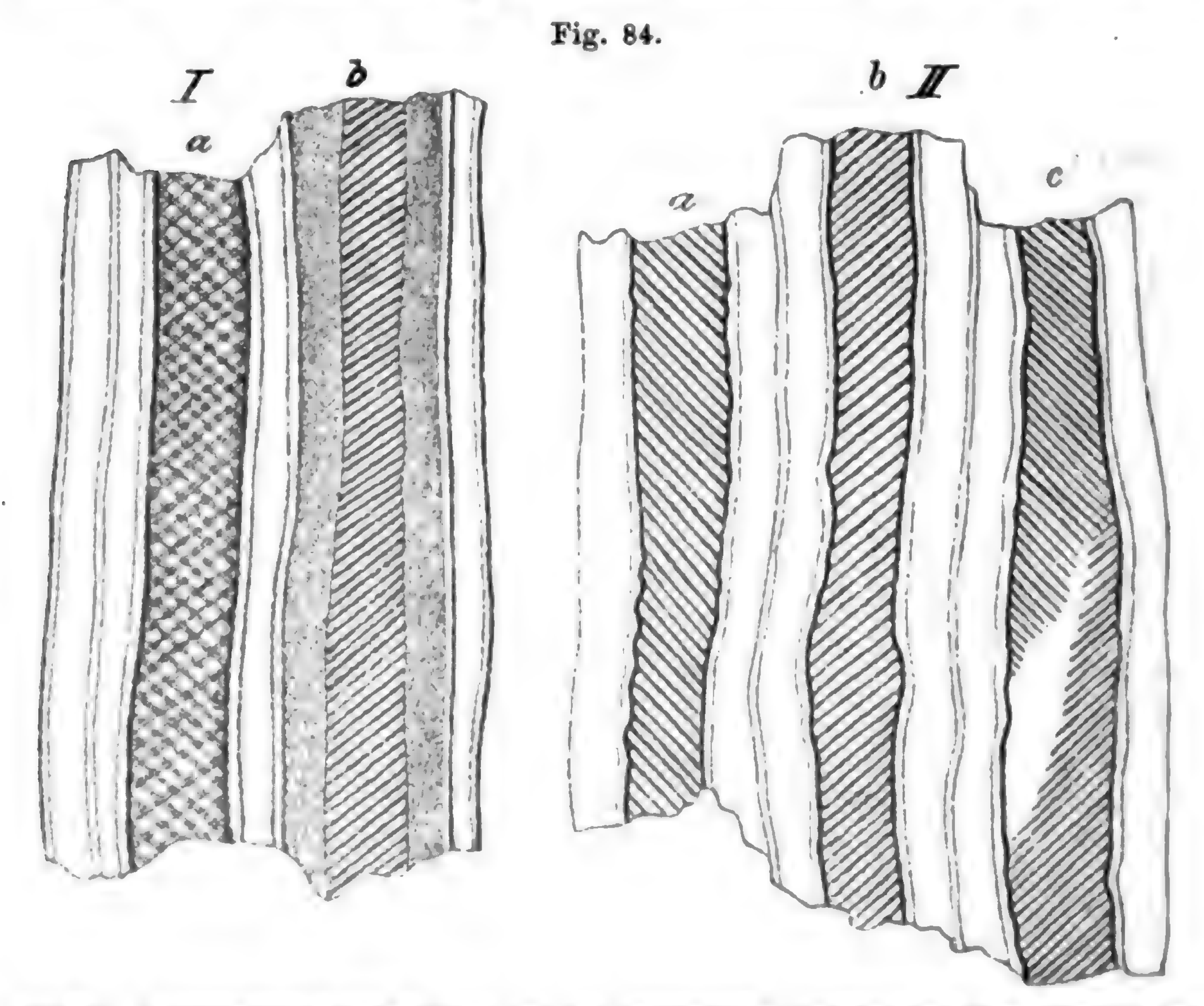


Fig. 84. I Längsschnitt zweier Zellen aus dem rothgefärbten Astholze von Pinus silvestris bei Einstellung *a* auf die Mittelebene des Hohlraumes, *b* auf die obere einfache Zellhälfte. II desgl. von drei Zellen, *a* und *b* durch den Schnitt halbirte Zellen, von denen je die obere oder untere Zellhälfte erhalten war, *c* eine je an der oberen und unteren Seite angeschnittene Zelle. Vergrösserung 1 : 500.

wand vollständig verholzten Zellen des Frühlings- oder des Herbstholzes der roth gefärbten Stellen von Aesten der Kiefer (Pinus silvestris), bei

Digitized by Google

denen nicht selten eine durch natürliche Einflüsse hervorgerufene Trennung in die einzelnen Elemente stattgefunden hat. Diese zeigen eine sehr scharf ausgeprägte, feine, etwa unter Winkeln von 44 bis 46° gegen die Längsachse der Fasern geneigte, rechts ansteigende (im Sinne der rechtsgewundenen Schraube [südwestlich, Nägeli]) spiralige Streifung mit nahezu gleich breiten, stärker und schwächer lichtbrechenden Bändern. Auch hier, wo diese Structur nur den inneren Theilen der Zellwand, d. h. der mittleren secundären Verdickung angehört, beobachtet man an Längsschnitten bei Einstellung auf die Mittelebene des Zellhohlraumes oder zweier aneinander grenzenden Zellwände, Kreuzung zweier gegenläufiger unscharf gezeichneter Streifensysteme (Fig. 84, I a), während bei geänderter Einstellung nur das allein vorhandene Streifensystem, dann aber scharf begrenzt in die Erscheinung tritt (Fig. 84, I b). Angeschnittene oder halbirte Zellen gewähren hier bei dem oft ziemlich weiten Hohlraume der Fasern und in Folge davon, dass dieselben stellenweise nicht mehr fest mit einander verwachsen erscheinen und sich so zahlreiche einfache, je einer einzigen Zelle angehörige Längswände in den Schnitten vorfinden, sehr instructive, nicht zu missdeutende Bilder. So z. B. trifft man häufig dicht neben einander liegende Fasern, an denen abwechselnd die obere oder die untere Hälfte weggenommen ist und in denen dann absolut je nur ein einziges, in den verschieden vom Schnitt getroffenen Fasern in verschiedener Richtung ansteigendes Streifensystem beobachtet wird (Fig. 84, II a und b). Ein anderes Mal erscheinen die Zellen, welche nicht ganz gerade verlaufen und bei denen beim Schnitt in dem einen Theile die obere, in dem anderen die untere Hälfte der Zellwand erhalten blieb, so, dass man an einer Zelle die eben geschilderten Verhältnisse vorfindet (Fig. 84, II c).

Entscheidende Aufschlüsse darüber, ob man es mit sich in einer Schichtenpartie kreuzenden oder in verschiedenen Schichtenpartien vorhandenen gegenläufigen Streifensystemen zu thun habe, lassen sich indessen am sichersten durch die Beobachtung von Zellen verschiedenen Alters, d. h. aus ganz jungen und älteren Zweigen und Aesten, und zwar entweder mittelst passender Längsschnitte oder mittelst macerirter und isolirter Zellen erlangen. Diese liefert den Beweis, dass die primäre Zellwand immer ungestreift erscheint (Fig. 85, I, a. f. S.), der erste Complex der secundären Schichten eine einfache Streifung zeigt (Fig. 85, II) und die rhomboidische Felderung erst mit der Ablagerung des zweiten Complexes letzterer auftritt (Fig. 85, III). Ausserdem liefern die mittelst Schwefelsäure, Kupferoxydammoniak u. s. w. hervorgerufenen Quellungserscheinungen passende Anhaltepunkte für die Lösung der noch etwa bleibenden Zweifel.

Nach Nägeli, Hofmeister, Sachs u. A. soll dieses Structurverhältniss, ähnlich wie die Schichtung, das Product einer Differenzirung des Zellstoffes in eine wasserreiche und wasserarme Modification darstellen, während ich schon in der ersten Auflage dieses Buches und auch

Digitized by Google

später stets für die Erklärung desselben als spiralige Verdickung aufgetreten bin (siehe die unten citirten Schriften).

Fig. 85.

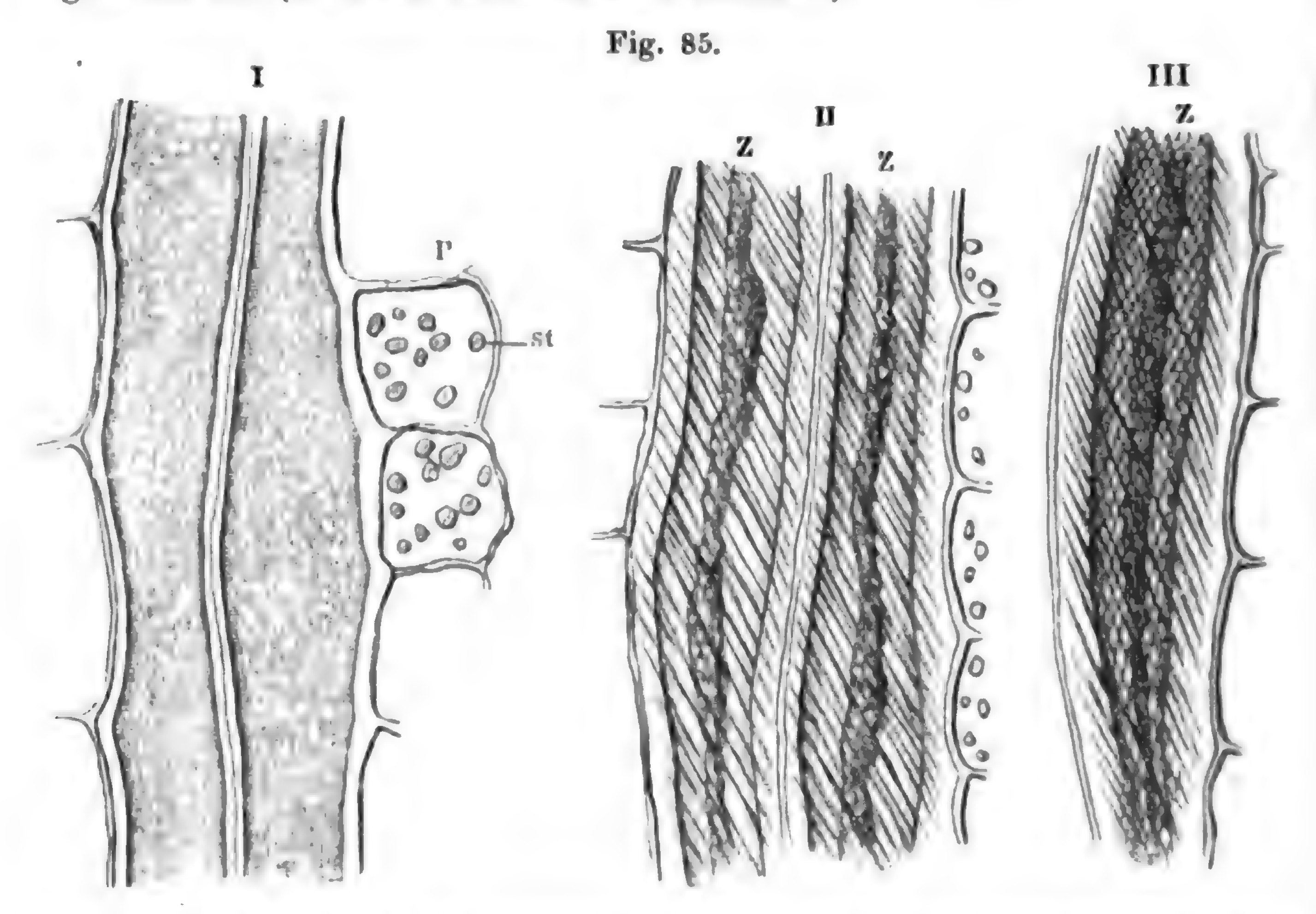


Fig. 85. I junge Bastzellen aus Cynanchum vincetoxicum mit protoplasmatischem feinkörnigem Wandbelege und homogener primärer Membran. II Bastzellen, welche den ersten links aufsteigend gestreiften Schichtencomplex gebildet haben. III eine Zelle mit zwei Schichtencomplexen, von denen der äussere links, der innere rechts aufsteigende Streifung zeigt. *Z* die Primordialzelle mit Inhalt, *P* Parenchym mit Stärke, *st*. Vergr. 1 : 800.

Schon die Beobachtung von mit Wasser umhüllten Schnitten durch — am besten, wie die von Asclepias syriaca, nur ein Streifensystem besitzenden — Bastfasern oder der gedachten Holzfasern von Pinus silvestris (Macerationspräparate sind hier möglicher Einwände bezüglich des bei der Maceration etwa eintretenden Verhaltens der vorausgesetzten „weichen" Streifen wegen auszuschliessen) kann für Jeden, welcher mit dem Bilde von Zellen mit abwechselnd wasserreicheren und wasserärmeren Schichten vertraut ist, durch die hier weit bedeutendere optische Differenz zwischen den hellen und dunklen Streifen die Ueberzeugung gewähren, dass man es bei der Spiralstreifung mit einer anderartigen Bildung, d. h. nicht mit Substanzverschiedenheit, sondern mit einer Verdickungsform zu thun hat. Der Streifung folgende Bruchstellen der Bastfasern, welche sich an Schnitten hier und da ergeben, zeigen kaum von der der dunklen Streifen verschiedene Wirkung und können obiges Beobachtungsergebniss nur bestätigen. Ausserdem vermag auch die Betrachtung von etwas schiefen, zur Richtung der Spirale senkrecht gerichteten Längsschnitten einen weiteren Beweis zu liefern, dass man es hier mit einer Verdickungsform zu thun hat. Wo die Schichtung, sei es nur in einem Schichtencomplex,

Digitized by Google

wie bei Asclepias syriaca (Ascl. Cornuti), sei es in mehreren Schichtencomplexen, wie bei Nerium, vorhanden ist (Fig. 86, I), fehlt auf dem Längsschnitte — vorausgesetzt, dass die Schnitte dünn genug sind, um nicht, wie dies auch bei nicht ganz genauer Einstellung geschieht, Täuschung zu veranlassen — dieselbe, welche in denen der Verdickungsbänder deutlich hervortritt, in den Durchschnitten der dunklen Streifen, d. h. den unverdickten Stellen des getroffenen Schichtencomplexes, gänzlich. Es treten daher bei genauer Einstellung die unverdickten Partien, je mehr die Schnittrichtung senkrecht zur Spirale, desto entschiedener und deutlicher als ununterbrochen verlaufende, allerdings je nach der Schnittrichtung den Streifen auf der Flächenansicht gegenüber mehr verbreiterte Streifen hervor (Fig. 86, I). Wo, wie es bei den erwähnten Holzfasern der Coniferen meist der Fall ist, sichtbare Schichtung fehlt, oder — wie es bisweilen in dem inneren Theile des Jahresringes (Frühlingsholz) vorkommt, zwischen der Primär- und Innenwand zwei getrennte Schichten auftreten, und die unverdünnten Stellen etwas breiter sind, da kann man die Durchschnitte bis zur Primärwand oder der äusseren secundären Verdickungsschicht verfolgen. Auf nicht zu dünnen Querschnitten kann unter günstigen Umständen und bei geschickter Verwendung der Beleuchtung und Drehung des Objectes über die ganze Fläche des Faserdurchschnittes ein ähnliches Verhalten beobachtet werden, wo dann bei mehreren spiralstreifigen Schichtencomplexen die Durchschnitte der dunklen Streifen an diesen abgesetzt, und zwar die einen etwas nach rechts, die anderen etwas nach links bogig schief verlaufen (Fig. 86, II). Hier scheinen jedoch, da der Schnitt schief gegen die Streifenrichtungen verläuft, ebenso wie an nicht ganz senkrecht zu dieser geführten Längsschnitten auch die Durchschnitte der Spiralstreifen zu durchlaufen.

Fig. 86.

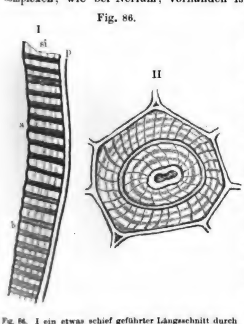


Fig. 86. I ein etwas schief geführter Längsschnitt durch den äusseren Schichtencomplex *si* einer Bastzelle von Nerium, in dem die Schnittrichtung nahezu senkrecht zur Streifung, die Einstellung bei *b* genau, bei *a* minder scharf ist, so dass im letzteren Bezirke auch die unverdickten Stellen geschichtet s c h e i n e n. *p* primäre, *s* secundäre Wandschicht. II Querschnitt durch eine alte Bastfaserzelle von Nerium Oleander. Vergr. 1 : 1000.

Die Polarisation kann über die Beschaffenheit der dunklen Streifen keinen Aufschluss gewähren. Wo an dünnen Schnitten einzelne Bast-

fasern oder Theile derselben so durchschnitten sind, dass nur eine Hälfte geblieben ist, da muss die ungestreifte, bei der steilen Streifenrichtung, wenn diese unter + oder — 45° orientirt ist, gegen die Polarisationsebenen geneigte Primärwand einen gewissen, wenn auch nur geringen Einfluss üben und eine schwache Aenderung des rothen Gypsgrundes hervorrufen.

Zur sicheren Entscheidung der Frage, ob die schmaleren, dunklen Streifen durch unverdickte Stellen oder Dichtigkeitsunterschiede hervorgerufen werden, die aber hier nicht wohl einer eingehenderen Erörterung unterworfen werden kann, ist vor allem die auf S. 141 u. f. angerathene Beobachtungsweise einzuschlagen. Ueberall, wo Dichtigkeitsunterschiede vorhanden sind, werden diese nämlich, wie wir an gedachter Stelle gesehen haben, durch das Einschluss- oder Umhüllungsmittel der betreffenden Präparate nicht geändert. Das gleiche Verhalten müsste man folgerichtig bei der spiraligen Streifung erwarten. Es müsste dieselbe, wenn sie durch Dichtigkeitsunterschiede veranlasst ist, an Präparaten, welche von Canadabalsam, Tolubalsam, Cassiaöl, Anisöl und Schwefelkohlenstoff umhüllt werden, ebenso gut und in gleicher Weise sichtbar sein, wie an solchen, welche von Wasser oder wässerigen Flüssigkeiten umspült werden. Nägeli selbst empfiehlt in beiden Auflagen des Mikroskopes dieses Verfahren zur Unterscheidung von Dichtigkeits- und Niveauunterschieden. Selbst wenn man mit Hofmeister annehmen wollte — und dazu wird sich wohl kaum Jemand veranlasst finden, der einmal das Verhalten der Querschnitte der oben genannten Zellenarten, bei denen die verschiedene Lichtbrechung zweifellos auf Dichtigkeitsverschiedenheiten und nicht auf chemischen Unterschieden der betreffenden Schichten beruht, in verschieden lichtbrechenden Medien beobachtet hat —, dass das Organisationswasser oder, wenn man so will, das Imbibitionswasser nach längerer Zeit durch dem Wasser nicht adhärirende Flüssigkeiten verdrängt und diese an seiner Stelle imbibirt werden könnten, müssten eben eingelegte Präparate durch dieses Verhalten doch noch nicht beeinflusst sein können und das beanspruchte mikroskopische Bild gewähren. Die Entscheidungsgründe bleiben also dieselben, wie oben bei der Schichtung, d. h. man hat auf Substanzverchiedenheiten zu schliessen, wenn die optischen Verhältnisse sich unter den verschiedenen Zusatzflüssigkeiten unverändert erhalten oder wenn in der Luft die Streifung undeutlich wird oder verschwindet, es sind dagegen Verdickungserscheinungen anzunehmen, wenn die optischen Verhältnisse sich den umgebenden Flüssigkeiten gemäss ändern, unter Luft die dunklen Streifen stärker hervortreten, unter Canadabalsam nahezu verschwinden, unter Anisöl sich in glänzende Streifen verwandeln, während die Verdickungsbänder dunkler erscheinen.

Am besten verwendet man feine, schon durch den Durchschnitt der seitlich gelegenen Wandtheile (Fig. 84, II) an und für sich in einzelnen Fällen ganz entschiedene Aufschlüsse gewährende Längsschnitte, durch

Digitized by Google

welche die Zelle geöffnet wird und der Zusatzflüssigkeit ein freier Zugang in das Innere gestattet ist, und beobachtet dieselbe in Wasser, Canadabalsam und Anisöl. Ausserdem empfiehlt sich die Beobachtung scharf getrockneter Präparate in Luft, wozu man neben Längsschnitten auch durch Maceration derselben isolirte Zellen verwenden kann. Nun ergeben sich aber als Resultate einer unter Sorgfalt ausgeführten, die Wirkung wechselnder Einstellung aufs genaueste in Rechnung ziehenden Beobachtung folgende:

1. An Längsschnitten sowohl als isolirten Faserzellen der sämmtlichen genannten Objecte, welche einen bis mehrere Tage der Einwirkung von absolutem Alkohol ausgesetzt, dann aus der Flüssigkeit genommen, theils rasch und scharf, theils allmälig und unter Deckglas getrocknet wurden, treten die Streifen unendlich viel schärfer hervor, als an den unter Wasser beobachteten oder in Chlorcalcium liegenden. Die vorher grauen, „schwach lichtbrechenden“ Streifen erscheinen nun völlig dunkel und neben ihnen heben sich die stark lichtbrechenden Bänder glänzend hervor (Fig. 87). Es tritt unter den vorliegenden Umständen also weder eine Verminderung der Sichtbarkeit, noch ein vollständiges Verschwinden der Spiralstreifung ein. Der diesen Thatsachen gegenüber erhobene Einwand von Prof. Sachs, dass, wenn die dichten Streifen sehr dicht, die wasserreichen sehr weich sind, wie bei manchen Holzfasern (Pinus silvestris), die Streifung auch durch Austrocknung deutlicher wird, weil dann die dichten Streifen hervorragen, die weichen einsinken, ist nicht ganz zutreffend. Es ist allerdings richtig, dass weiche, wasserreiche Streifen beim Eintrocknen an Substanz und folglich auch an Volumen verlieren. Aber auch die dichten Streifen erleiden einen gewissen Verlust und ob dann Unterschiede in den Niveaudifferenzen hervorgerufen werden, wie sie Sachs annimmt, der uns dann doch auch noch den Beweis für die für „manche“ Zellen vorausgesetzte Wassergehaltsdifferenz schuldig wäre, ist doch höchst zweifelhaft. Dann tritt bei nicht eingetrockneten, sondern mit ihrem Imbibitionswasser noch behafteten Faserzellen, die in Canadabalsam eingeschlossen werden, bei denen also von einem Einsinken der weicheren Schichten in keiner Weise die Rede sein kann, einzelne dieser Zellen oder Stücke derselben, in welchen das Einschlussmittel die in dem Hohl-

Fig. 87.

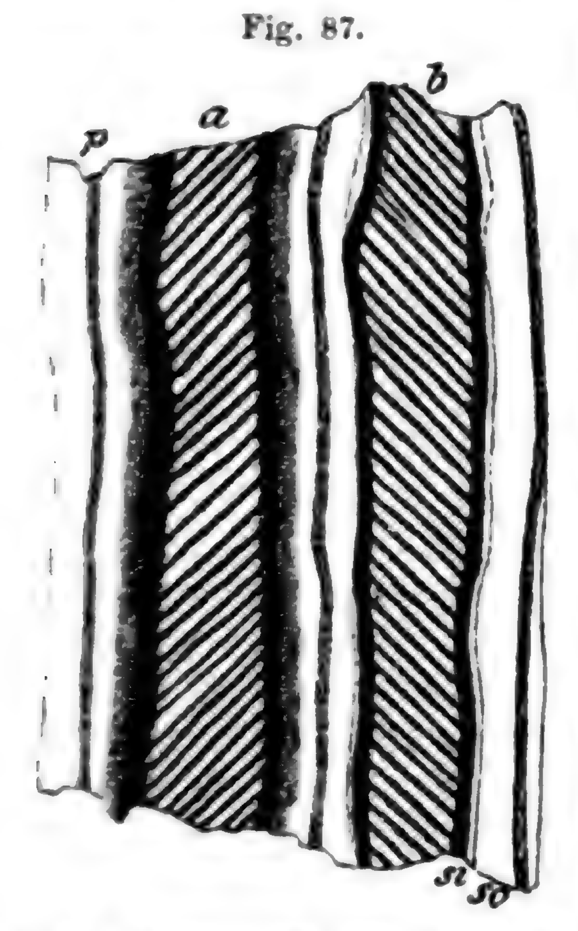


Fig. 87. Längsschnitt zweier Zellen aus dem rothen Astholze von Pinus silvestris, ausgetrocknet und in Luft beobachtet, *a* die obere, *b* die untere Wandfläche, erhalten. Vergr. 1 : 500.

raum befindliche Luft nicht verdrängen konnte, gerade an diesen Zellen oder Zellstücken die Spiralstreifung in derselben entschiedenen Schärfe hervor, wie bei Luftpräparaten. Endlich zeigen nicht „manche Holzzellen", sondern alle bisher untersuchten spiralig gestreiften Zellen die Streifung im trockenen Zustande deutlicher als im befeuchteten, und zwar auch die von dem genannten Forscher besonders hervorgehobenen und als die Streifung im getrockneten Zustande verlierend bezeichneten, sehr wenig verdickten Parenchymzellen aus den Knollen der Georginen, wo doch zum Einsinken der weichen Schichten wahrlich wenig Raum bleibt.

2. Spiralig gestreifte Zellen des verschiedensten Herkommens und mit verschiedener Stärke der secundären Verdickung, und zwar die Holzfasern von Pinus silvestris sowie die Bastfasern von Asclepias syriaca und die Parenchymzellen aus den Knollen von Dahlia, lassen im Allgemeinen sowohl im frischen wie im trockenen Zustande die Spiralstreifung um so weniger deutlich erkennen, je mehr die umhüllende, durch die Art der Präparation genügenden Zutritt zu der Structur erlangende Flüssigkeit sich in ihrem Brechungsvermögen von dem des Wassers entfernt und sich dem des Zellstoffes nähert. Schon im Chlorcalcium wird der Unterschied zwischen den hellen und dunklen Bändern etwas schwächer, als im Wasser, in Glycerin steigert sich dieses Verhältniss noch mehr und in Canadabalsam ($n = 1{,}53$) wie in Bittermandelöl wird die Zeichnung in dem Maasse weniger leicht sichtbar, als es der Unterschied in dem Lichtbrechungsvermögen zwischen diesen Flüssigkeiten und dem Wasser bedingt (Fig. 88). Noch frappantere Resultate liefert die Umhüllung mit noch stärker lichtbrechenden Mitteln. Unter Schwefelkohlenstoff ($n = 1{,}626$) und Monobromnaphtalin ($n = 1{,}658$), welche die Innenwand („tertiäre Membran"), welche wiederum etwas schwächer bricht, als die primäre Zellwand, etwas an Lichtbrechungsvermögen übertreffen, kehrt sich die Zeichnung insofern gerade um, als jetzt in Verbindung mit der mittleren röthlichgrauen secundären Verdickung gleich gefärbte Bänder auftreten, zwischen denen etwas hellere, bis zur secundären Verdickung reichende Bänder verlaufen, während im Wasser stärker lichtbrechende Bänder und mittlere secundäre Verdickung im Zusammenhange stehen und die dunkleren Bänder zwischen den helleren und bis an die letzteren reichend verlaufen. Cassiaöl ($n = 1{,}580$), welches ein der Innenwand etwa gleiches, nur wenig höheres Lichtbrechungsvermögen besitzt, bringt unter ähnlichen Verhältnissen, wie oben geschildert, die Streifung fast völlig zum Verschwinden. In den mit den gedachten Flüssigkeiten umhüllten Prä-

Fig. 88.

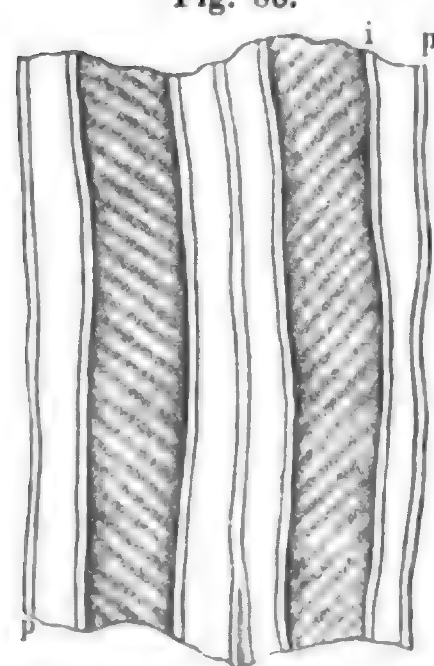


Fig. 88. Längsschnitt zweier Zellen aus dem rothen Astholz von Pinus silvestris in Canadabalsam. *p* Primärwand, *i* Innenwand. Vergr. 1 : 500.

Digitized by Google

paraten treten in an der Seite nicht ganz geöffneten Zellen öfter Stellen mit grösseren Luftblasen im Hohlraum der Zellen auf und erscheint dort die Streifung so scharf, wie in Luft. Daneben finden sich aber auch solche, bei denen das Einschlussmittel die Luft nur aus den Streifen nicht verdrängt hat, und diese sich als dunkle Linien auf dem aufgehellten Grunde darstellen. Besonders belehrende Bilder gewähren die Stellen, wo die Luft an der Seitenwand und von da ab in einem Theil der Streifen haften blieb, so dass dieser dunkelschwarz, der andere Theil je nachdem schwächer gezeichnet oder unsichtbar erscheint. Mit diesen Bildern erscheinen aber die neuerdings von Correns (a. a. O.) gegen meine Darstellung des Sachverhaltes erhobenen Einwände beseitigt.

Färbungsversuche sowie Erzeugung von gefärbten Niederschlägen dürfen nur an Längsschnitten einfach gestreifter Objecte, nicht aber an macerirten Zellen vorgenommen, und dann nur die Stellen zur Beobachtung benutzt werden, an denen die Schnitte eine Wandfläche bloss gelegt haben. Nur in diesem Falle kann man entscheidende Bilder wahrnehmen. Gänzlich unverholzte Zellen, wie diejenigen der Georginenknollen, der Bastfasern von Asclepias syriaca (Ascl. Cornuti) z. B., mit einem der zusammengesetzten Jodpräparate behandelt, zeigen die Spiralbänder violettblau oder röthlichviolett gefärbt, während man die feineren Streifen dunkel erblickt, die breiteren oder die verbreiterten Stellen ersterer das Sehfeld ungefärbt durchscheinen lassen. Färbung mittelst Methylen-, Nacht- und Naphthylenblau, Safranin, Rutheniumroth, bei denen jedoch ein längeres Auswaschen in Wasser und gegebenen Falles in Alkohol anzuwenden ist, damit die von den capillaren Spalten zurückgehaltene Färbeflüssigkeit durch erstere ersetzt wird (anfangs und auch nach kurzem Auswaschen erscheinen die Schnitte gleichmässig gefärbt), rufen ähnliche Bilder hervor, doch ist hier bei den nur wenig Pectose enthaltenden Bastfasern der genannten Asclepiasart der Farbenton nur schwach. Methylgrün, Fuchsin und die eben genannten Farben ertheilen den Spiralbändern der Holzfasern von Pinus silvestris die entsprechenden Färbungen, während die unverdickten Streifen ohne Färbung dunkel bleiben oder das durch die Primärwand schwach gefärbte Sehfeld durchscheinen lassen.

Die Erzeugung der von Correns empfohlenen Niederschläge mittelst des His-Recklingshausen'schen, in der Zoologie schon lange zum Nachweise feiner Canälchen benutzten Verfahrens sowohl, als mittelst Blutlaugensalz und Eisenchlorid ergaben mir die gleichen Resultate, wie dem Genannten. Bei ersterem wurden ausgetrocknete, zarte Schnitte (nicht macerirte Zellen) in eine 2proc. Silbernitratlösung gebracht, dann unmittelbar oder nach raschem Abschwenken in Wasser in eine 0,75- bis 1proc. Kochsalzlösung übertragen und endlich in reinem Wasser längere Zeit dem Lichte ausgesetzt. Getrocknet und in Xylol-Canadabalsam eingeschlossen, zeigten sich nun, und zwar in gleicher Weise bei den Bastfasern von Asclepias syriaca, wie den Holzfasern von Pinus silvestris, die dunklen Streifen, sowie die engeren spaltenförmigen Poren von dem

Digitized by Google

bekannten feinkörnigen, schwarzen Niederschlag erfüllt, welcher besonders deutlich bei Beobachtung mittelst apochromatischer Immersionsobjective hervortrat [1]). Bei dem zweiten Verfahren kamen ausgetrocknete Schnitte zunächst in eine 10proc. Lösung von gelbem Blutlaugensalz, dann unmittelbar oder nach Abtrocknen mit Filtrirpapier in eine verdünnte Eisenchloridlösung. Ausgetrocknet und in Xylol-Canadabalsam eingeschlossen, zeigten die Spiralstreifen — es wurden dieselben Objecte, wie oben, verwendet — den Niederschlag von Berlinerblau. Aus dem völlig gleichen Verhalten der Bastfasern von Asclepias syriaca, wie der in Frage kommenden Holzfasern von Pinus silvestris, für die von Correns spiralige Verdickung ausdrücklich zugegeben wird, geht nun hervor, dass demselben in beiden Objecten zum mindesten gleiche Structur zu Grunde liegen kann, und dass mittelst dieser beiden Verfahren für die Differenzirung in wasserreiche und wasserarme Streifen bei den Bastfasern nichts bewiesen werden kann.

Die Quellungserscheinungen, bei denen allerdings die weicheren Streifen zunächst und vorzugsweise ergriffen und neben anders gerichteter Volumvergrösserung in mehr oder minder hohem Grade auch in der Richtung senkrecht zu ihrem Verlaufe verbreitert werden müssten, bei denen sich aber meistens die durch die verschiedene Dichtigkeit der Schichtlamellen hervorgerufenen mit den in den einzelnen Spiralbändern eintretenden combiniren, und bei denen man nur selten den Verlauf der letzteren möglichst ungetrübt beobachten kann, können hier wenig entscheidend werden. Wir wollen indessen die Quellung in Schwefelsäure, Kalilauge und Kupferoxydammoniak etwas näher ins Auge fassen.

Wässerige Schwefelsäure in verschiedenen Verdünnungsgraden angewendet, verändert das Aussehen der Präparate kaum. Namentlich ist an ihrer Einwirkung ausgesetzten Faserzellen keine Verbreiterung der dunklen Streifen zu beobachten (Fig. 89, I u. II). Bei allmäligem Zufügen von concentrirter Schwefelsäure ändert sich das Verhalten. Bei weniger intensiver Wirkung nehmen die stärker lichtbrechenden Bänder etwas von dem Reagenz auf, werden weniger glänzend und verbreitern sich um Weniges, während die Neigung der Spirale etwas geringer wird und die primäre Zellwand sich von der secundären Verdickung trennt. Die dunklen Streifen liessen eine Verbreiterung nicht erkennen, und es wurden die Zwischenräume zwischen den stark brechenden Streifen nicht vergrössert. Alles dies kann namentlich da mit Sicherheit festgestellt

---

[1]) Bei der Deutung des körnigen, dem Verlaufe der Schichtung folgenden Silberniederschlages, bei dem Stärkekorne und den geschichteten Zellwänden ist Correns einem Irrthume verfallen. Derselbe tritt, wie man sich leicht an den breite wasserreichere Schichten zeigenden Stärkekörnern der Kartoffelfrucht überzeugen kann, nicht in diesen Schichtenlamellen, sondern in den schon ursprünglich vorhandenen, durch das Austrocknen erweiterten Trennungsspalten zwischen den vorhergehenden härteren und der folgenden weicheren Schichtenlamelle auf.

Digitized by Google

werden, wo bei einzelnen Fasern die obere oder untere Zellhälfte an Schnitt- oder Zerreissungsstellen über die andere hervorragt und die aus der primären Zellwand hervorstehenden Spiralstreifen frei in der Flüssigkeit liegen, also in ihrer Volumveränderung nicht behindert werden (Fig. 89, I, unten). Bei noch kräftigerer Einwirkung der stärkeren Säure lagern die hellen Bänder bald grössere Mengen des Reagenzes ein und die Neigung der Spirale vermindert sich noch etwas mehr als vorher,

Fig. 89.

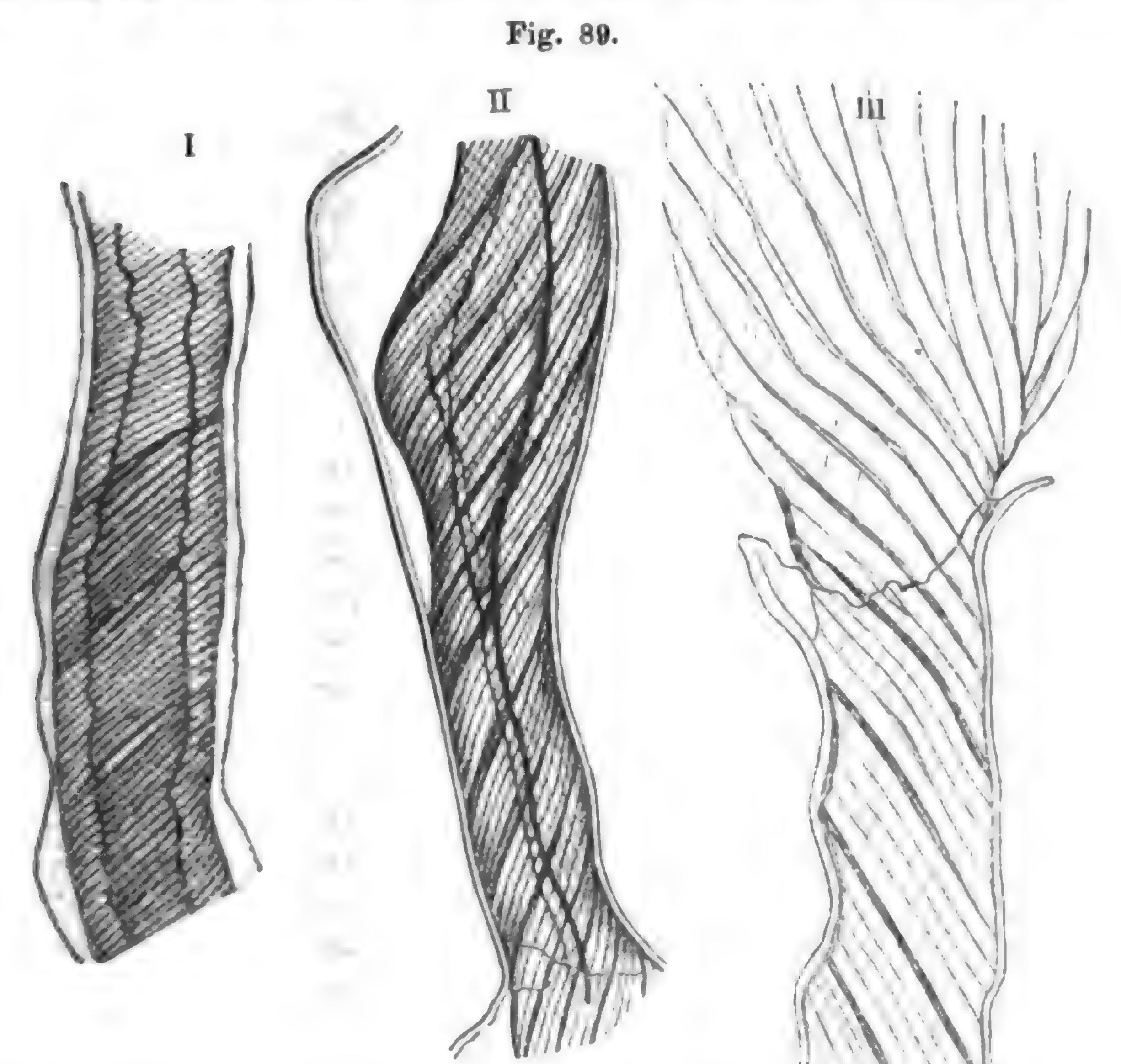


Fig. 89. I spiralstreifige Holzfaser von Pinus silvestris unter Schwefelsäure. II Bastfaser von Asclepias syriaca unter demselben Reagenz. Das untere Ende zeigt die frei in die Flüssigkeit ragende Streifung der unteren Zellhälfte. III desgleichen nach Einwirkung etwas concentrirterer Schwefelsäure. Vergr. 1 : 500.

während die primäre Zellwand bandartig zerrissen wird, sich theilweise ablöst und die secundäre Verdickung, deren Spiralbänder sich gruppenweise von einander trennen, ohne dass zwischen den einzelnen hellen Streifen die Entfernung sich ändert, bauchig hervorquellen lässt (Fig. 89, II). An abgeschnittenen oder zerrissenen Fasern werden die einzelnen Schichten und Schichtencomplexe von diesen Stellen aus rasch und fast ruckweise gelöst; die hellen Bänder werden blasser, bleiben aber vorerst in ihrer ursprünglichen Entfernung von einander; dann verbreitern sie sich fast plötzlich stark, strahlen besenförmig aus einander (Fig. 89, III)

Digitized by Google

und verschwinden mit einem Male zu einer körnigen Masse aufgelöst. In gleicher Weise setzt sich der Process gleichsam ruckweise nach dem anderen Zellende hin fort. Bei Nerium, wo, wie schon berichtet, in den stärker verdickten Fasern zwei Streifensysteme vorkommen, sieht man hier und da unter günstigen Umständen und an geeigneten Bruch- oder Zerreissungsstellen die Streifensysteme der einzelnen Schichtencomplexe sich nach entgegengesetzten Richtungen aufrollen (Fig. 90), und kann auf das Klarste erkennen, dass dieselben nicht zu zweien ein und demselben Schichtencomplex angehören.

Fig. 90.

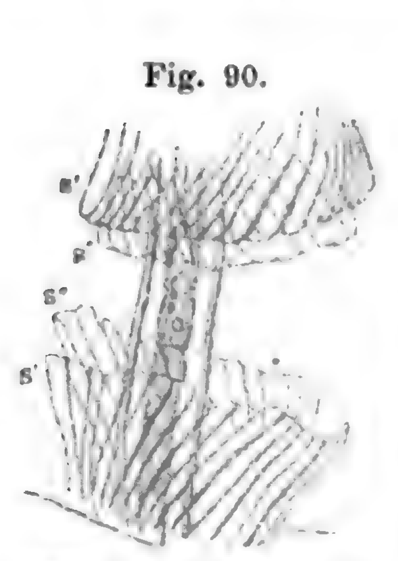


Fig. 90. Isolirte Bastfaser von Nerium Oleander in vorgerücktem Quellungszustande an einer Bruchstelle beobachtet. Vergr. 1 : 500.

Fig. 91.

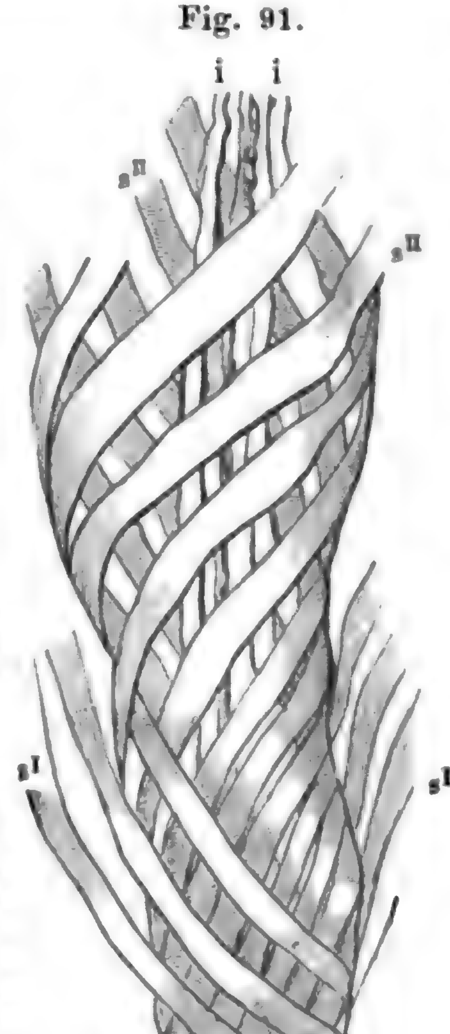


Fig. 91. I eine Bastfaser von Nerium Ol., mit Kupferoxyd-Ammoniak behandelt. s' s' Spiralbänder der äusseren, s'' s'' dergleichen des inneren Schichtencomplexes, die ersteren beinahe gelöst, die anderen in Lösung begriffen. i Innenwand. Vergr. 1 : 800.

Kalilauge in zwei verschiedenen Verdünnungsgraden, 1 : 10 und 1 : 5, jede für sich, die erstere noch weiter verdünnt und beide in verschiedenen Verhältnissen mit einander gemischt verwendet, lässt, während die Schichten in ihren weichen Lamellen (und es ist dies an Querschnitten zu controliren) unter dem Einflusse des Aetzkalis sich verbreitert hatten, die dunklen Streifen in ihrem Breitenausmaasse unverändert.

Die Einwirkung des Kupferoxydammoniaks führt im Ganzen und Grossen zu denselben Resultaten, wie die vorgenannten Mittel, gleicht wiederum einigermaassen derjenigen von stärkerer Schwefelsäure und ist deren Resultat insofern noch etwas instructiver, als sie langsamer abläuft und die Spiralstreifen eine schwachblaue Färbung zeigen (Fig. 91).

Netzförmige Verdickung.

In den parenchymatischen Zellen sind die netzförmigen Verdickungsschichten (Fig. 92) weit häufiger zu beobachten, als die spiralförmigen. Man trifft dieselben in dem Blattgewebe mancher Gesneriaceen und Liliaceen, in den Spiralfaserzellen der Lebermooskapseln und Antheren, in dem Rindengewebe und Collenchym mancher Dikotyledonen, so z. B. der Gartenbalsamine, des Hollunders, in den Samendecken der Asclepiadeen und Apocyneen. In den Röhrenzellen fehlen dieselben bei den

Digitized by Google

Dikotyledonen ebenso wenig, als die spiralförmigen Formen, wogegen sie bei den Monokotyledonen oft nicht vorhanden zu sein scheinen.

Fig. 92.

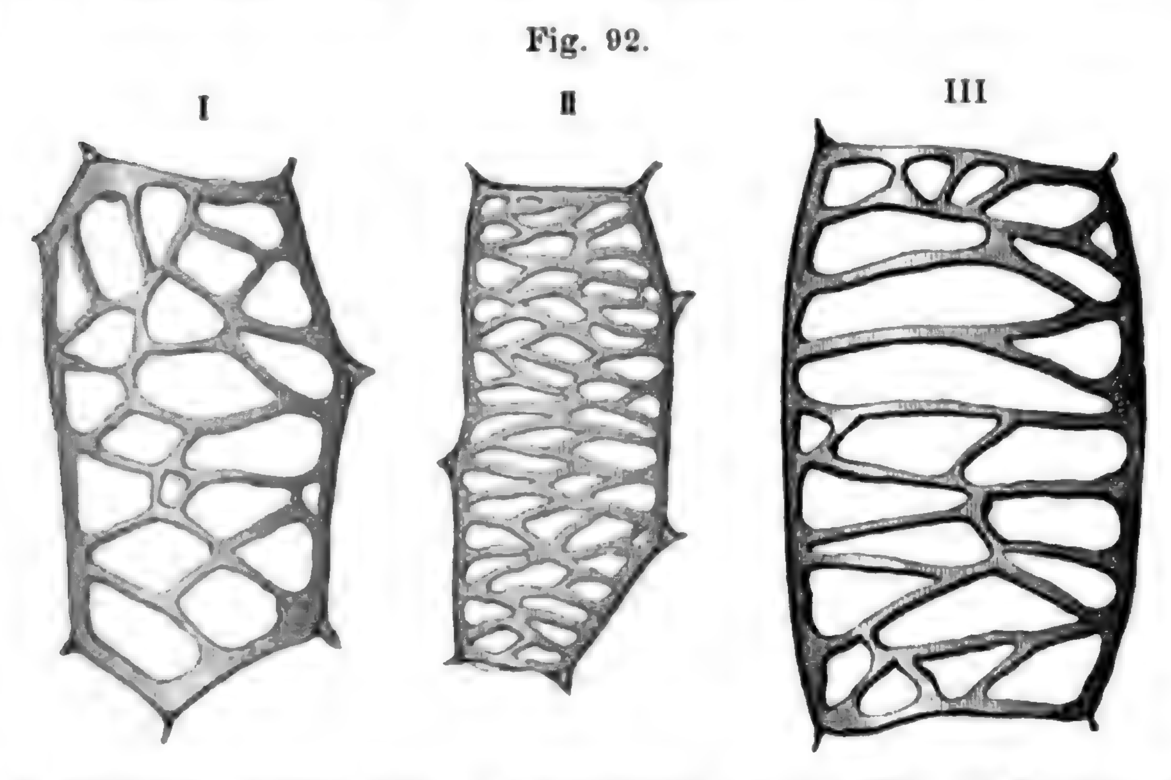


Fig. 92. Netzförmig verdickte Zellen. I Parenchymzelle aus dem Blatte von Sanseriera guyanensis. II Parenchymzelle aus der häutigen Scheide der Frucht von Juglans regia. III Gefässzelle aus dem Stengel von Impatiens noli tangere. Bei allen dreien wurde die obere Wand gezeichnet. Vergr. I und II 1 : 660, III 1 : 370.

Bei den ersteren Pflanzen folgen die Röhrenzellen mit netzförmigen Verdickungsschichten stets im Alter denen mit Spiralbändern, und bieten namentlich die Stengel der Balsamine, des Kürbis, junge Triebe der als Zierpflanze überall verbreiteten Datura suaveolens u. a. sehr vortreffliche Objecte für die Beobachtung.

Feinerer Bau der Verdickungsbänder. — Wo die Ring-, Spiral- und Netzfasern auf dem optischen oder wirklichen Durchschnitte in hinreichender Mächtigkeit abgelagert sind, wie z. B. bei Phragmites, Arundo, Impatiens, Balsamina u. s. w., da erkennt man, wie schon in der ersten Auflage für die spiralige Verdickung ausgeführt wurde, bei ihnen denselben Bau, wie er weiter oben (S. 133) geschildert worden ist, d. h. man unterscheidet leicht eine äussere, der primären Zellwand aufgelagerte, minder dichte, schwächer lichtbrechende und eine innere, die letztere umschliessende, dichtere, stärker lichtbrechende Schicht, welche sich in minderer Dicke auch über die ganze Innenfläche der Zelle fortsetzt. In gleicher Weise lassen sich auf der Flächenansicht diese Schichten unterscheiden (Fig. 93, a. f. S.). Wendet man auf Querschnitte der Fasern ein Quellungsmittel an, dann lässt sich häufig die mittlere Schicht in einzelne Lamellen zerlegen.

Der gleiche Bau kann an günstigen Objecten spiralstreifiger Zellen, wo die Spiralstreifung nicht nur auf zwischen Primär- und Innenwand gelegene Schichten beschränkt ist, sondern die Wand bis zum Hohlraum

Digitized by Google

durchsetzt, wie bei den Zellen des rothen Astholzes von Pinus silvestris, auch bei diesen erkannt werden. Etwas schief, am besten unter einem Winkel von nahe 45° zur Längsachse dieser Holzfasern geführte Querschnitte besitzen meist zahlreiche Stellen, welche eine genaue Ermittelung des vorliegenden Structurverhältnisses gestatten. Die eine, die Spiralstreifen dann unter nahezu rechtem Winkel schneidende Seite der Zellendurchschnitte zeigt bei schwacher Vergrösserung von dem Hohlraume aus nach der primären Zellwand hin ausstrahlende, abwechselnd helle und dunkle Streifen, mit anscheinend knötchenförmigen Hervorragungen der stärker lichtbrechenden Innenwand, während die andere Seite in Folge des mit der Neigung der Spirale etwa gleich gerichteten Schnittes glatt oder von weit entfernten schmalen Streifen durchsetzt erscheint. Ob man es hier mit Dichtigkeitsstreifen oder mit Substanzlücken zu thun habe, lässt sich bei derartiger Vergrösserung nicht entscheiden. Greift man aber zu vorzüglichen stärkeren Vergrösserungen, wie sie die Eintauchsysteme bis zu 2 und 1,5 mm Brennweite, namentlich aber die Apochromaten gewähren, so schwinden alle Zweifel, sobald man eben von gut ausgeführten, hinreichend dünnen Schnitten die thatsächlichen Verhältnisse klarlegende Stellen zur Beobachtung wählt. Man erkennt dann zweierlei dunklere Radialstreifen, nämlich dunklere und weniger dunkle. Die letzten erscheinen dabei nach dem Hohlraum der Zelle hin wie an ihren beiden gleichlaufenden oder doch nahezu gleichlaufenden Grenzen von einer stärker brechenden, je nachdem das eine oder das andere der S. 155 erwähnten Verhältnisse vorliegt, bis zur primären Zellwand oder der äusseren der beiden Schichten reichende Zellstofflamelle, d. h. der Innenwand, eingeschlossen (Fig. 94, I) und dadurch von dem Innenraum der Zelle, wie von den dunkleren Streifen abgegrenzt. Die dunkleren Streifen reichen nicht ganz so weit in die Zellwand hinein, wie die vorhergehenden, so dass in ihrer Fortsetzung die Primärwand etwas verdickt erscheint. In den minder dunklen, hell umrahmten Streifen liegen nun unzweifelhaft Durchschnitte verdickter Stellen der Zellwand

Fig. 93.

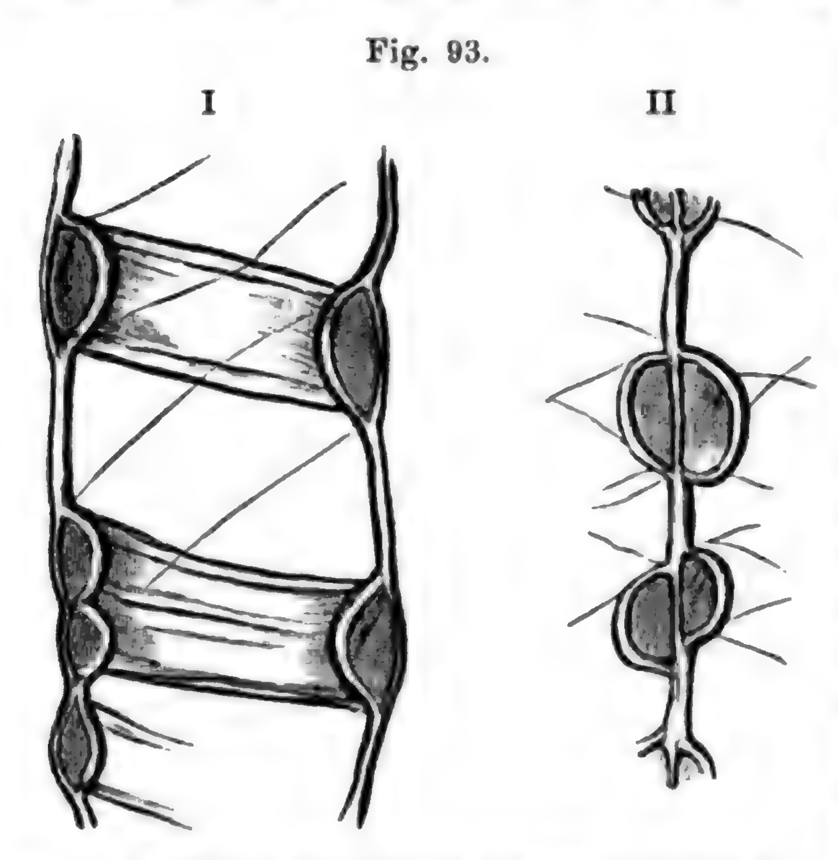


Fig. 93. I optischer Längsschnitt und Flächenansicht einer isolirten, II Längsschnitt zweier an einander grenzenden Röhrenzellen von Impatiens. Vergr. 1 : 1000.

Digitized by Google

vor, welche innen aus der weichen secundären Verdickung bestehen und von der dichteren Innenwand eingerahmt sind. In den dunkleren Streifen dagegen haben wir die unverdickten Stellen der Zellwand zu erblicken, welche nahe bis an die primäre Zellwand — die innerste dichte Schichtlamelle liegt noch dazwischen —, niemals aber über diese hinausreichen. Noch fast schönere und klarere Bilder gewähren sehr dünne Secanten- und Radialschnitte aber immer nur an einzelnen günstigen Stellen, die durch den nicht überall parallel mit der Schnittfläche gehenden Verlauf der Holzfasern bedingt werden. Hier tritt in der klarsten Weise das eben geschilderte Structurverhältniss zu Tage (Fig. 94, II). Die Radialstreifen des Querschnittes wandeln sich in quer über den Zellwanddurchschnitt verlaufende Streifen um, von denen sich die dunkleren als Substanzlücken, die anderen als verdickte Stellen der weniger dichten secundären Schichtlamelle mit umfassender, nach Zellhohlraum und Substanzlücken hin abgrenzender, innerster dichter Schichtlamelle: die Innenwand, kund geben. Das in den ersteren in der That die Durchschnitte der auf der Fläche hell erscheinenden Streifen, welche bei grösserer Breite in dieser Richtung ebenfalls eine Zusammensetzung aus einer mittleren, schwächeren und zwei äusseren, stärker lichtbrechenden Streifen erkennen lassen, in den anderen die Durchschnitte der dunklen Zwischenräume vorliegen, davon überzeugt man sich leicht durch den Verfolg des Zusammenhanges zwischen den beiden hervortretenden radialen Streifen einer- und den hellen und dunklen Spiralstreifen andererseits.

Fig. 94.

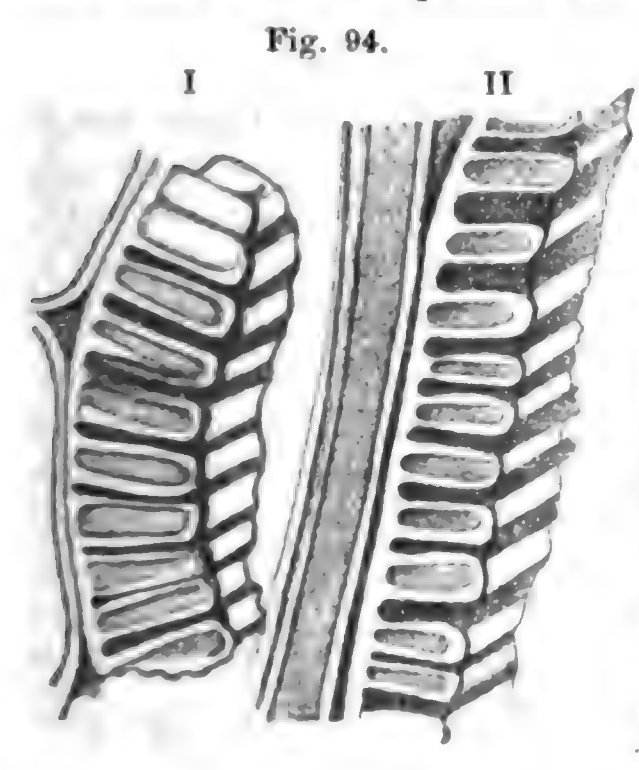


Fig. 94. I schiefer Quer-, II Längsschnitt einer abnorm verdickten gestreiften Zelle des Frühlingsholzes von Pinus silvestris. Vergr. 1 : 2000.

Poröse Verdickung.

Die poröse Verdickungsweise hat von allen die weiteste Verbreitung, und es findet sich wohl kaum eine Zellenart höherer Gewächse, bei der man sie nicht beobachtet. Sie tritt sowohl bei sehr zarten, als bei starken secundären Verdickungsschichten auf. Während bei den ersteren, wofür die meisten Parenchymzellen Beispiele liefern, die unverdickten Stellen auf dem Querschnitt als eine oft kaum merkliche Unterbrechung der Zellwand oder der secundären Verdickung erscheinen, lassen die anderen, sämmtliche Verdickungsschichten meist senkrecht die-

Digitized by Google

selben durchsetzende und — an dickeren Schnitten und bei schwacher Vergrösserung — anscheinend bis zur Primärwand reichende Canäle erkennen (Fig. 95). Diese bei den sich berührenden Zellen stets von beiden Seiten auf einander treffenden Canäle bezeichnet man, ebenso wie die seichtere Unterbrechung der secundären Verdickung, als Porencanäle.

Je nach der Gestalt der letzteren, welche bei Nachbarzellen gleicher Art beiderseits gleich ist, indessen mannigfache Uebergänge von der einen der beiden vorkommenden Grundformen zu der anderen zeigt, unterscheidet man einfache und behöfte Poren (einfache und behöfte Tüpfel), während die bei benachbarten Zellen verschiedener Art auftretenden Poren, wo die Gleichgestaltigkeit mehr oder minder zurücktritt, als halbbehöfte bezeichnet werden.

Einfache Poren. — Bei den einfachen Poren, welche sich ausnahmslos bei allen den Zellenarten finden, welche bestimmt sind, Reserve-

Fig. 95.

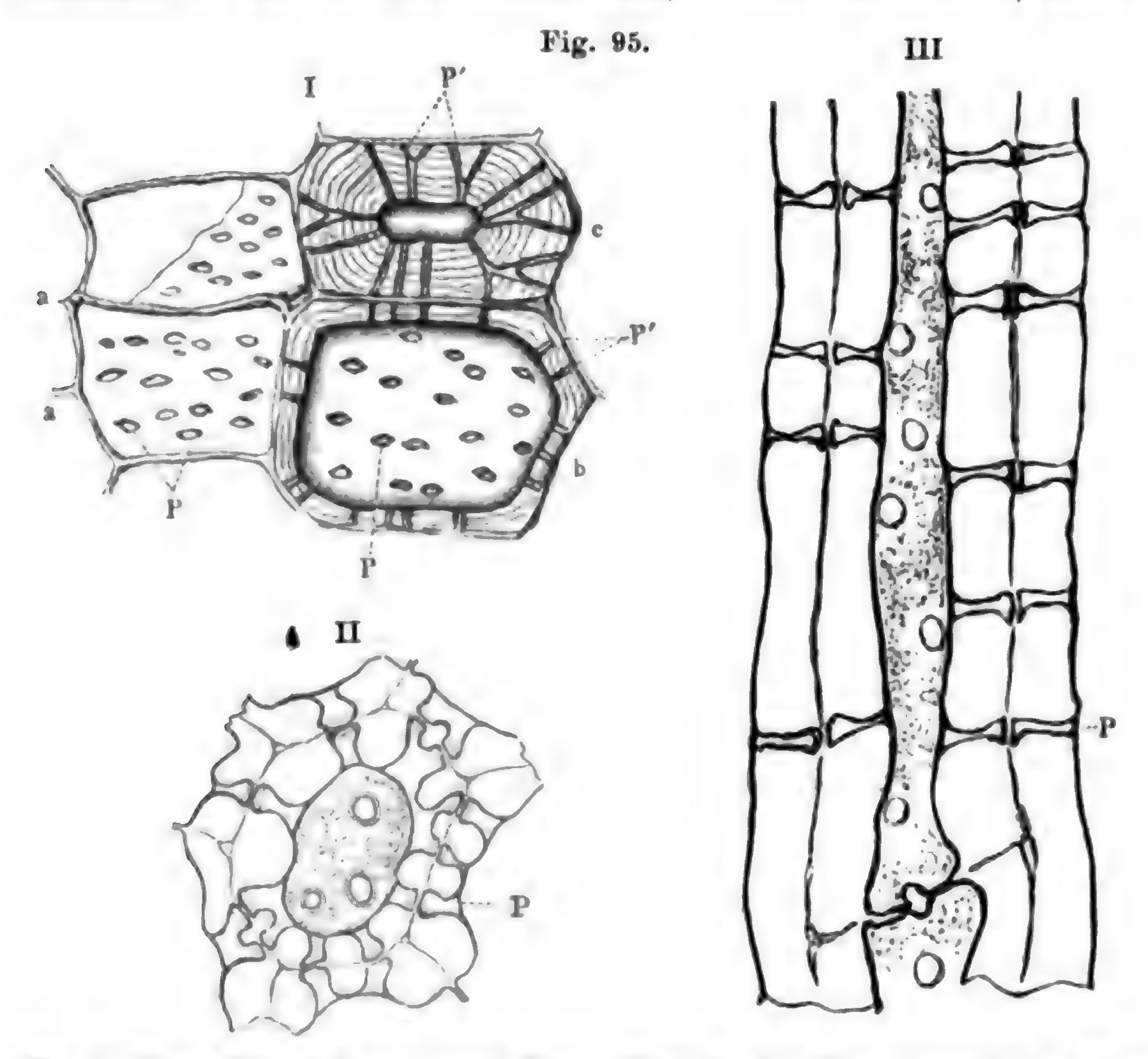


Fig. 95. Poröse Zellen mit geschlossenen Poren. I Markzellen aus Hoya carnosa, bei *aa* schwach verdickt und unverholzt, bei *b* stärker, bei *c* sehr stark verdickt und verholzt. *PP* Poren von oben gesehen, *P'P'* Porencanäle. II Albumenzelle nebst Theilen der angrenzenden Zellen von Ruscus aculeatus. III desgl. von Phytelephas macrocarpa mit am Ausgange etwas erweiterten Porencanälen *PP*. Vergr. 1 : 370.

stoffe zu bereiten und aufzubewahren und vorzugsweise dem Parenchym angehören, dann bei den stark verdickten, meist mehrfach geschichteten

Digitized by Google

Faserzellen des Bastes und den ähnlich gebauten des Holzes (Libriformfasern, bastfaserähnliche Holzzellen) auftreten, ist der oft äusserst feine Porencanal ziemlich vielgestaltig. Bei den Zellen erster Art erscheint derselbe auf dem Querschnitte bei den minder verdickten einfach, bei sehr stark verdickten Parenchymzellen, wie bei denen der steinigen Concretionen der Winterbirne, der Samenschale des Steinobstes, der Wallnuss, des Markes und der Rinde von Hoya carnosa, der Rinde mancher Laub- und Nadelhölzer (Esche, Tanne u. s. w.), oft in der mannigfaltigsten Weise (Fig. 95, I) verästelt, in der Regel cylindrisch (Fig. 95, I) und auf der Flächenansicht meist kreisförmig, oval oder länglich-elliptisch; hier und da verengert er sich nach aussen und erscheint dann conisch; in anderen Fällen (Fig. 95, II u. III) erweitert er sich gegen den Grund etwas, so dass in der Flächenansicht das Bild seines Durchschnittes, noch von einem zweiten Kreise umschlossen, gleichsam schmal behöft erscheint und wird dann als stempelförmig bezeichnet; bei denen der anderen Art sind sie spaltenförmig und meist einer, von der Linken zur Rechten aufsteigenden, also rechtsläufigen (nach anderem Sprachgebrauche linkswendigen) Schraubenlinie entsprechend, selten der Längsachse der Zelle gleichlaufend, gerichtet und am Grunde etwas erweitert, wovon man sich namentlich durch Anwendung starker Vergrösserung — bei höchst gelungenen Schnitten — oder durch die Betrachtung von oben überzeugen kann.

Als vollständige, d. h. im ganzen Umfange ihres Hohlraumes stattfindende Durchbrechungen der Gesammtzellwand sind bis jetzt fast nur die höchst feinen, an in Wasser oder Glycerin beobachteten Schnitten nicht erkennbaren Porencanäle in dem Sameneiweiss der Brechnuss (Strychnus nux vomica, Fig. 96, I, a. f. S.) (Tangl), einiger Palmen wie Kentia, Lodoicea (Gardiner), sodann in der Kleberschicht des Eiweisses der Gräser, namentlich des Weizens und Roggens, neben weiteren Poren, ferner für sich allein in den Parenchymzellen der Rinde von Humulus, den Ranken von Bryonia, in den Pallisadenzellen des Blattes von Ranunculus bulbosus, zwischen den Milchröhren und angrenzenden Parenchymzellen von Nerium und Taraxacum (Fig. 96, III) und sonst vereinzelt neben den gewöhnlichen Poren, in Form von weiteren Canälen bei Thuidium (Hypnum) delicatulum und in dem Rhizom von Polypodium vulgare (Fig. 96, II) (Kienitz-Gerloff) bekannt.

Um dieselben bei dem erstgenannten Objecte sichtbar zu machen, behandelt man dünne Schnitte in einem Probirröhrchen mit durch wenig Wasser verdünnter alkoholischer Jodlösung, giebt dann eine geringe Menge Wasser zu, schüttelt zur Entfernung der störenden Inhaltsbestandtheile um und beobachtet unter Wasser. Bei den Objecten zweiter Art behandelt man zarte Querschnitte zur Härtung des Protoplasmas am besten zuerst mit einer Lösung von Jodkalium (5 cg Jod, 20 cg Jodkalium und 15 g Wasser, Kienitz-Gerloff), dann zur Quellung mit Chlorzinkjodlösung, wäscht sorgfältig aus und färbt darauf mit einer Lösung von

Digitized by Google

Anilinblau (Hofmann's Blau) in Wasser oder in 50proc., mit Pikrinsäure gesättigtem Alkohol (Pikrin = Hofmann's Blau Gardiner's), mit Methylenblau oder Methylviolett, wäscht gut aus und beobachtet in

Fig. 96.

I

II

III

Fig. 96. I Querschnitt durch das Sameneiweiss von Strychnus nux vomica. Vergr. 1 : 500. II Querschnitt aus dem Parenchym des Rhizomes von Palypodium vulgare. Vergr. 1 : 320. III Längsschnitt aus der Wurzel von Taraxacum officinale. *m* Milchröhre, *p* Parenchymzelle. Vergr. 1 : 900 (II u. III nach Kienitz-Gerloff).

Glycerin. Bei den Gräsern führt nach Strassburger die auf das Tränken mit Jodtinctur folgende Behandlung mit der gebräuchlichen Jodkaliumlösung und Schwefelsäure am besten zum Ziele. Man erblickt dann bei den mit Jod behandelten Objecten die Porencanäle von braungelb, bei der Färbung mit Pikrin-Anilinblau oder den anderen Färbeflüssigkeiten unterworfenen, von blau gefärbten, in der Durchschnittsebene der Cambialwand meist knötchenartig verdickten Protoplasmafäden durchsetzt und erkennt, dass die Zellkörper der benachbarten Zellen mittelst der feinen Porencanäle in unmittelbarer Berührung stehen (Fig. 96, I bis III). Zur Aufbewahrung der mittelst der genannten Flüssigkeiten gefärbten Schnitte verwendet man entweder das Hoyer'sche Einschlussmittel oder, nachdem man zunächst mittelst verdünntem und dann absolutem Alkohol entwässert und einer der öfter erwähnten Mittel aufgehellt hat, Canadabalsam oder Dammarlack.

Alle übrigen einfachen Poren besitzen — soweit zur Zeit bekannt — einen durch eine bestimmte Schicht der Gesammtwand hergestellten

Digitized by Google

Verschluss, d. h. eine Schliesswand. Letztere ist entweder vollkommen geschlossen, oder in anderen, bei zahlreichen Pflanzen aus den verschiedensten Familien und bei den verschiedenen Zell- und Gewebeformen vorkommenden Fällen durch feine, an dem unverletzten Präparate nur selten erkennbare Verbindungscanälchen unterbrochen.

Bis in die neueste Zeit nimmt man von Seiten der meisten Botaniker an, dass diese Schliesswand durch die zwischen den Porencanälen ununterbrochen fortlaufende Primärwand gebildet werde. Nur Theodor Hartig hatte das fragliche Structurverhältniss schon 1843 (siehe Literaturangaben) in anderer Weise dargestellt, indem er den Verschluss der einfachen Poren als durch die innersten, die Hohlräume der Zellen auskleidenden „copulationsartig" mit einander verwachsenen Schichtenlamellen der Nachbarzellen (seine Ptychode) hergestellt beschrieb und ich hatte dessen Beobachtungsresultate schon an der Fig. 39 der Taf. VI der ersten Auflage, sowie in meiner unten verzeichneten Abhandlung über den feineren Bau der Zellwand bestätigt. Oberflächliche Betrachtung der Porendurchschnitte, namentlich an dicken Schnitten, ohne ausgiebige Ausnutzung aller zur Verfügung stehenden Hülfsmittel führen hier leicht irre. Man verwende daher zur Entscheidung über die Berechtigung der einen oder der anderen Ansicht nur die gelungensten Schnitte und beobachte dieselben in gewöhnlichem Lichte, zunächst ohne Eingriffe färbender oder quellender Mittel, dann unter Einwirkung dieser und endlich in polarisirtem Lichte. Neben dem schon von Hartig und dann auch von mir und Strassburger benutzten Objecte, den Markzellen von Taxodium distichum, gewähren für die einfachere Form der Schichtung namentlich die Zellen des hornigen Sameneiweisses der Palmen und vieler Liliaceen, Smilacaceen u. s. w. für mehrfach geschichtete Zellwände die Markzellen von Clematis leicht zu behandelnde und den Sachverhalt in klarster Weise vor Augen führende Objecte.

Zur Beobachtung für die erstere Form der Schichtung kann zunächst das Sameneiweiss von der überall leicht zu beschaffenden Steinnuss (Phytelephas microcarpa und macrocarpa) verwendet werden. Aus demselben lassen sich, wenn man ausgesägte Stückchen einige Tage in Wasser legt, Schnitte gewinnen, welche an Dünne nichts zu wünschen übrig lassen und unter allen Umständen Schliffen weit vorzuziehen sind. Solche Schnitte lassen sofort und auf das Klarste erkennen, wie die stark lichtbrechende, sich scharf abhebende Innenwand (tertiäre Membran, d. ält. Aut., Grenzhäutchen Strassburger's) von dem Zellhohlraume aus einbiegend den Porencanal auskleidet und sich ohne Unterbrechung an der meist nur schwach sichtbaren Primärwand vorbeigehend in die Schliesswand übergeht (Fig. 97, I, a. f. S.). Am häufigsten vereinigen sich die den Nachbarzellen angehörigen Innenwände mit einander zu einer einfachen Schliesswand (Fig 97, I, links), an anderen Stellen bleiben sie dagegen mehr oder weniger von einander getrennt, und zwar durch eine an Lichtbrechungsvermögen der weniger dichten, secundären Verdickungsschicht

Digitized by Google

nachstehende Zwischensubstanz (Fig. 97, I, rechts unten). Recht belehrende Bilder gewähren auch solche Stellen, an denen eine einseitige oder beiderseitige Vereinigung zweier dicht bei einander gelegener Porencanäle stattgefunden hat und der Schliesswand gleichsam knopfförmige

Fig. 97.

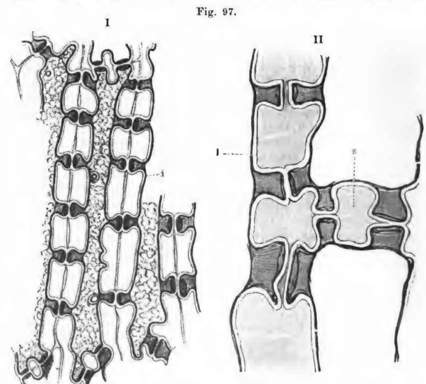


Fig. 97. I Längsschnitt aus dem Sameneiweiss von Phytelephas microcarpa. II Schnitt durch das Sameneiweiss von Smilax aspera. Vergr. I 1:500, II 1:1000.

Verdickungen aufgesetzt erscheinen oder wo, wie es bei Smilax der Fall ist, das völlige oder theilweise Getrenntbleiben der Schliesswandlamellen fast zur Regel wird, während zugleich die Primärwand der minder dichten secundären Verdickung an Lichtbrechungsvermögen gleich ist und molecular verändert mit ähnlichen Theilchen dieser gleichsam eine gleichartige, mehr oder minder mächtige Füllmasse zwischen den stark brechenden Innenschichten der Nachbarzellen vorstellt (Fig. 97, II).

Behandlung mit Schwefelsäure lässt die Innenwand unberührt, während die Quellung in den ihr zunächst gelegenen Theilen der mittleren weniger dichten Schicht beginnt und ohne deutlichen Zerfall in einzelne Schichtenblätter zu veranlassen, nach aussen fortschreitet (Fig. 98, I u. II). Die Innenwand wird dabei durch die bedeutende Raumvergrösserung der weicheren quellungsfähigen Verdickungsmasse zu einer äusserst dünnen

Digitized by Google

Lamelle gedehnt und es stellt sich bei rechtzeitiger Unterbrechung der Quellung das in nebenstehender Fig. 98, III, wiedergegebene Bild dar. In ähnlicher Weise wirkt die Behandlung mit Chlorzinkjodlösung. Diese

Fig. 98.

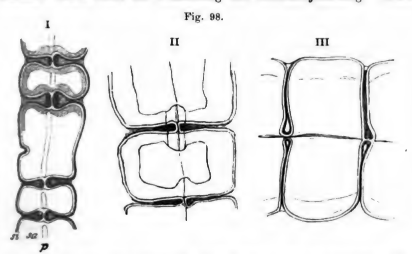


Fig. 98. I bis III Theile eines Längsschnittes durch das Sameneiweiss von Phytelephas macrocarpa in verschiedenen Quellungszuständen unter concentrirter Schwefelsäure. Vergr. 1 : 800.

ruft indessen bei anderen Objecten, z. B. bei Phönix, eine starke Quellung der äusseren secundären Verdickung mit Sichtbarwerden gleichartiger Schichtung hervor, während die Innenwand gedehnt wird und verschmälert, aber immer deutlich abgegrenzt erscheint. Dabei reichen aber die Schichten bloss bis an die Grenze der letzteren und es ist selbstverständlich, dass bei der durch die Quellung verursachten Rundung zwischen je zwei Porencanälen es den Anschein gewinnt, als ob sich diese Schichten nach den letzteren hin auskeilten.

Fig. 99.

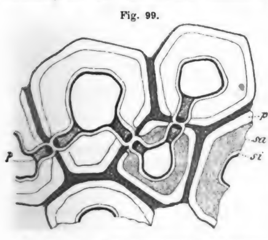


Fig. 99. Querschnitt aus dem Sameneiweiss von Phytelephas microcarpa unter Kalilauge gequollen. Vergr. 1 : 500.

Lehrreiche Bilder liefern unter Kalilauge gequollene Querschnitte des Sameneiweisses der beiden Phytelephasarten. Beim Beginn der Quellung treten die Primärwände etwas stärker hervor und die Innen-

wand erscheint noch schärfer ausgeprägt, während die äussere secundäre Verdickung in Folge der Aufnahme des Quellungsmittels noch etwas weniger lichtbrechend erscheint als vorher. Dann wird die zwischen den Primärwänden vorhandene Kittsubstanz gelöst und diese treten an Breite zunehmend scharf abgesetzt hervor, während die äussere secundäre Verdickung mächtige Quellung erleidet. Dabei bleibt die den bis dahin noch nicht gequollenen Zellhohlraum und die Porencanäle auskleidende, in die Schliesshäute übergehende Innenschicht in vollkommenem Zusammenhange, verbreitert und scharf gezeichnet sichtbar (Fig. 99, a. v. S.). Derartige Zustände lassen sich, wenn die Quellung in der oben geschilderten Weise sofort unterbrochen wird, in Glycerin oder Glyceringelatine aufbewahren.

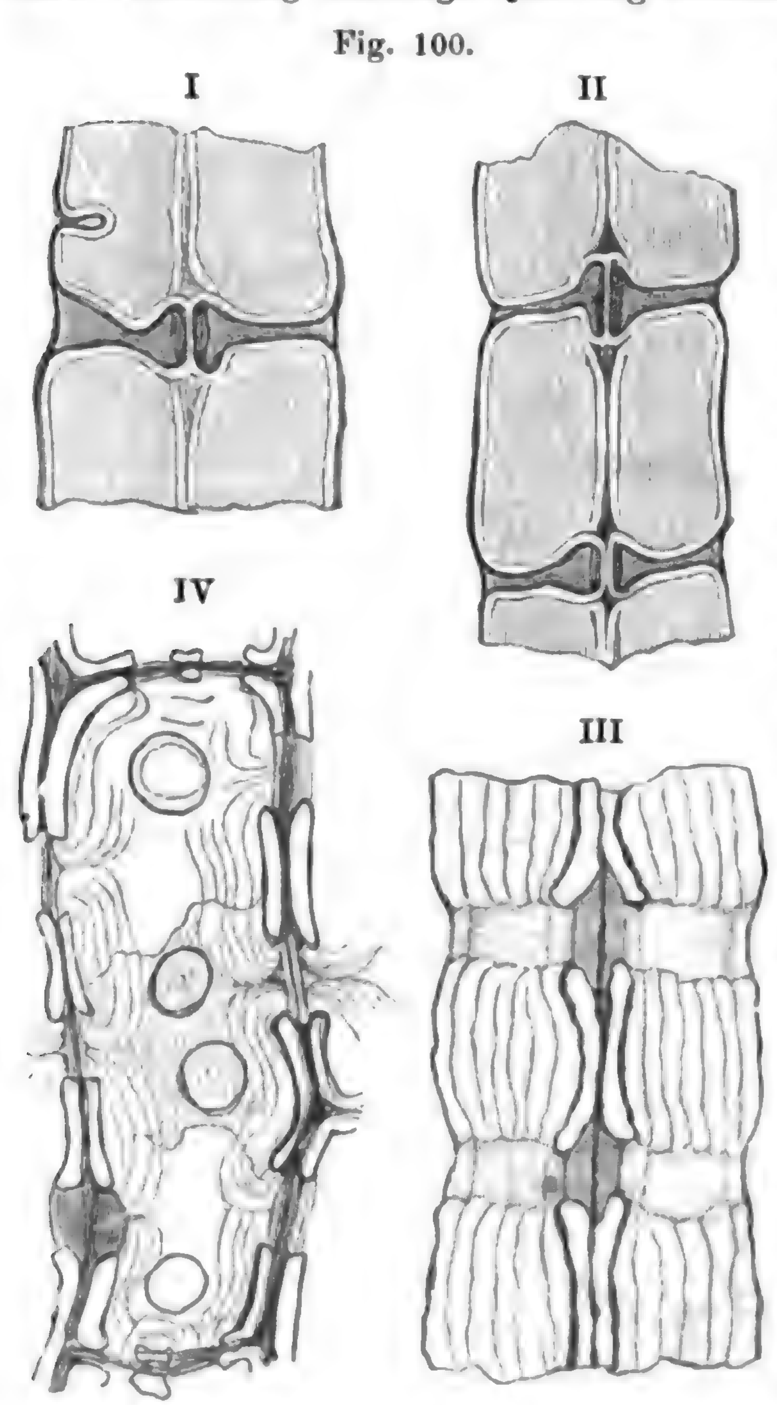


Fig. 100. I bis IV Theile eines Längsschnittes aus dem Sameneiweiss von Phytelephas macrocarpa in verschiedenen Zuständen der Einwirkung von verdünnter Chromsäure. Vergr. 1 : 750.

Besonders wichtige Einblicke, namentlich über die Frage, ob, wie Strassburger annimmt, die vorbeschriebene Structur durch die Ränder der auf den Porencanal mündenden Schichten so zu sagen durch die Schichtenköpfe hervorgerufen werde, welche durch die Berührung mit dem Protoplasma diese physikalische, d. h. stärker lichtbrechende Eigenschaft erlangen sollen, gewährt die Behandlung dünner Längs- und Querschnitte einerseits mittelst verdünnter Chromsäure, andererseits mittelst Kaliumquecksilberjodid.

Eine 5- bis 10proc. Chromsäure löst zunächst, und zwar von den Schliesswänden der Poren beginnend, eine mittlere Schicht (Intercellularsubstanz) zwischen den Wänden der Nachbarzellen, indem die zu beiden Seiten derselben liegenden Primärwände etwas deutlicher hervortreten (Fig. 100, I und II). Hierauf ergreift die Wirkung die Innenwand und es wird dieselbe über das Zelllumen, wie auch über den ganzen Bereich

Digitized by Google

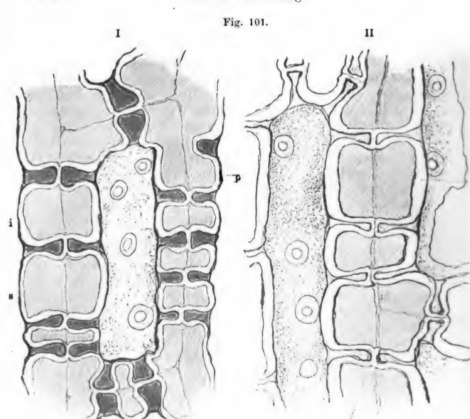
des Porencanals einschliesslich der Schliesswand in Lösung übergeführt. Zugleich quellen die Primärwände etwas auf und die zwischen diesen und der Innenschicht liegende, früher ungeschichtet erscheinende Verdickung wird in eine Anzahl gleichartiger Schichten gespalten, welche jetzt unmittelbar in den erweiterten, keine stärker brechende Auskleidung zeigenden Porencanal münden (Fig. 100, III). Im weiteren Verlaufe werden auch diese Schichten bis auf die jetzt ziemlich stark gequollenen Primärwände (Fig. 100, IV) und endlich auch diese aufgelöst.

In gewissem Maasse entgegengesetzt erscheint die Wirkung des zweiten Reagenzes, und zwar sowohl auf Präparate von Phytelephas wie von Phoenix dactylifera u. a. Die Quellung ergreift zunächst die durch die Aufnahme der Lösung sich hellgelb färbende, glänzende Innenwand, während die übrigen Theile der Zellwand, d. h. Primärwand und äussere secundäre Verdickung, in der Regel fast völlig unbeeinflusst und farblos bleiben (Fig. 101, I, a. f. S.), schreitet unter annähernd gleichem Verhalten dieser letzteren immer weiter fort (Fig. 101, II), und wird zuletzt so mächtig, dass sich die ersteren über die letzteren weit hinüberwölben (Fig. 101, III). Dabei bleibt der Zusammenhang der Innenwand vollständig erhalten und zeigt sich nirgends ein den einzelnen Schichten entsprechendes Zerfallen. In manchen Fällen tritt an einzelnen Stellen eines Schnittes in dem schwächer lichtbrechenden Theile der secundären Verdickung, und zwar ohne stärkere Quellung, eine feinere Schichtung auf und man überzeugt sich dann leicht davon, dass die Schichtung nur bis an die Auskleidung der Porencanäle herantritt, nicht aber in diese übergeht, indem hier eine Täuschung, wie sie bei sehr starker Quellung des in Frage kommenden Theiles der Verdickung möglich wird, wegen des meist geraden Verlaufes der Einzelschichten ausgeschlossen ist. Unterbricht man die Quellung, ehe sie zu weit fortgeschritten ist, und wäscht sorgfältig aus, so lassen sich die erhaltenen Präparate in Glycerin oder Glyceringelatine aufbewahren. In solchen nimmt die Innenschicht, einschliesslich der Schliesswände, ein blasseres Aussehen an, als die äussere Verdickungsmasse, d. h. sie erscheint röthlich, während die letztere bläulich aussieht, und hebt sich dabei sehr scharf ab, so dass über den ununterbrochenen Zusammenhang derselben kein Zweifel bleiben kann.

Die Färbung sowohl mittelst der Zellstoffreagentien, insbesondere mit Chlorzinkjodlösung, als mit den Färbeflüssigkeiten, welche, wenn sie ausschlaggebende Bilder über die verschiedene Färbefähigkeit der Innenwand und der übrigen Wandschichten geben sollen, nur an hinreichend dünnen, einzelne Porencanäle nach oben und unten frei legenden Schnitten ausgeführt werden darf, gelingt nicht bei jedem hornartigen Sameneiweiss. Namentlich zeigt sich dasjenige der Palmen meist als durch letztere nicht färbbar, während dasjenige der Liliaceen und Smilaxaceen, namentlich der Gattungen Ruscus und Smilax, welches indessen auch nur einzelne Farbstoffe, und zwar oft in geringem Maasse aufnimmt oder dieselben bei dem Auswaschen rasch verliert, hier und da bessere Erfolge gewährt.

Digitized by Google

Fig. 101.



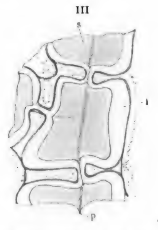


Fig. 101. I bis III Theile eines Längsschnittes durch das Sameneiweiss von *Phytelephas microcarpa* in sich folgenden, durch Kaliumquecksilberjodid hervorgerufenen Quellungszuständen. Vergr. 1 : 750.

Digitized by Google

Chlorzinkjodlösung färbt, da, wo sie überhaupt, und zwar oft erst nach längerem Liegen der Präparate darin in dieser Weise wirkt, Innenschicht sammt Schliesswänden hellbläulich, die secundäre Verdickung sammt Primärwand violett. Von den färbenden Flüssigkeiten geben die ausgiebigsten Färbungen wässerige Lösungen von Congoroth, Erythrosin, Gentianablau, Methylviolett und alkoholische Lösung von Säure-Fuchsin (Badische Anilinfabrik, Fuchsin S.), während andere Flüssigkeiten nur höchst schwache oder keine Färbung bewirken. Besonders zu empfehlen sind Methylviolett und Erythrosin. Ueberall zeigt hier die Innenwand einschliesslich der Schliesswände einen helleren, die secundäre Verdickung einen dunkleren, matteren Ton der gleichen Farbe. So färbt Methylviolett die Innenwand bläulich, die secundäre Verdickung violett (Fig. 109, S. 180), während Erythrosin, wenn auch nicht über die ganzen Schnitte gleichmässig, der Primärwand und der äusseren secundären Verdickung eine dauernde (in Dammarlack aufbewahrte Präparate haben sich seit sechs Jahren gut erhalten), hell carmosinrothe Färbung ertheilt, die Innenwand aber ungefärbt lässt (Fig. 102). Zum Aufbewahren werden Präparate der ersteren Färbungen mit Wasser ausgewaschen und in Glyceringelatine eingelegt, letztere nach der entsprechenden Vorbehandlung mit Alkohol und Nelkenöl oder Xylol mit Canadabalsam oder Dammarlack umhüllt. Der unterbrochene Uebergang der Innenwand in die Schliesswände tritt hier sowohl bei der Chlorzinkjodreaction als bei der Färbung überall scharf vor Augen. Noch entschiedener aber ist dies der Fall, wenn man in Quecksilberkaliumjodid gequollene Schnitte mittelst Gentianaviolett färbt. Die Innenschicht nimmt dann eine mehr röthliche, die anderen Wandtheile eine mehr blaue Färbung an.

Fig. 102.

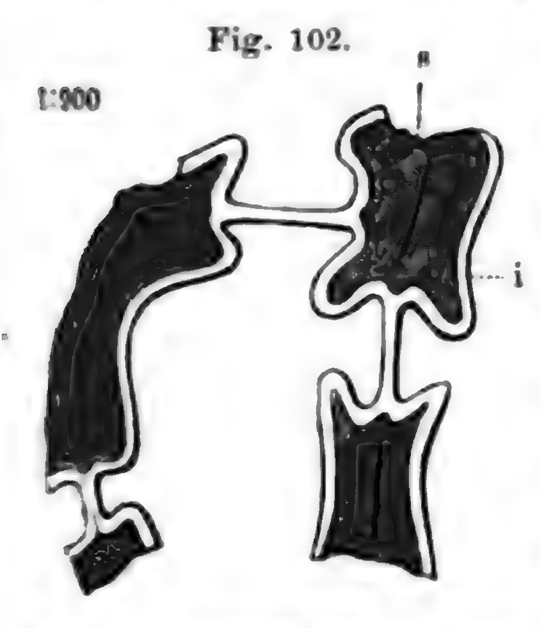


Fig. 102. Querschnitt durch das Samenweiss von Smilax aspera mit Erythrosin gefärbt. Vergr. 1 : 900.

Zur Beobachtung im polarisirten Lichte sind von dünnen Längsschnitten die — bei Phytelephas noch ausreichend wirkenden — dünnsten Stellen zu wählen, an denen die Porencanäle vollkommen gerade durchschnitten sind. Orientirt man eine solche Stelle derart, dass ein oder einige Porencanäle auf dem Gypsgrunde (Roth I. Ordnung) unter 45°, d. h. mit der grössten Elasticitätsachse des Gypsplättchens gleichlaufend, die Achsen der Zellwände aber unter — 45°, d. h. mit der kleineren Elasticitätsachse des Gypsplättchens gleichlaufend, dahingehen, so zeigt sich folgendes Farbenbild. Die Längswände, einschliesslich der Schliesswand, zeigen bis zur Auskleidung des Porencanals durch die Innenwand Subtractionsfarben, d. h. Gelb, während letztere sich im Verlauf der Porencanäle in Addition befindet, d. h. Blau erscheint, und die Umbiegungs-

Digitized by Google

stellen an der Ausmündung des Porencanals in den Zellhohlraum den Gypsgrund wiedergeben (Fig. 103). Dreht man das Präparat um 90°, so kehren die Farben um, d. h. wo vorher Gelb war, erscheint Blau, und

Fig. 103.

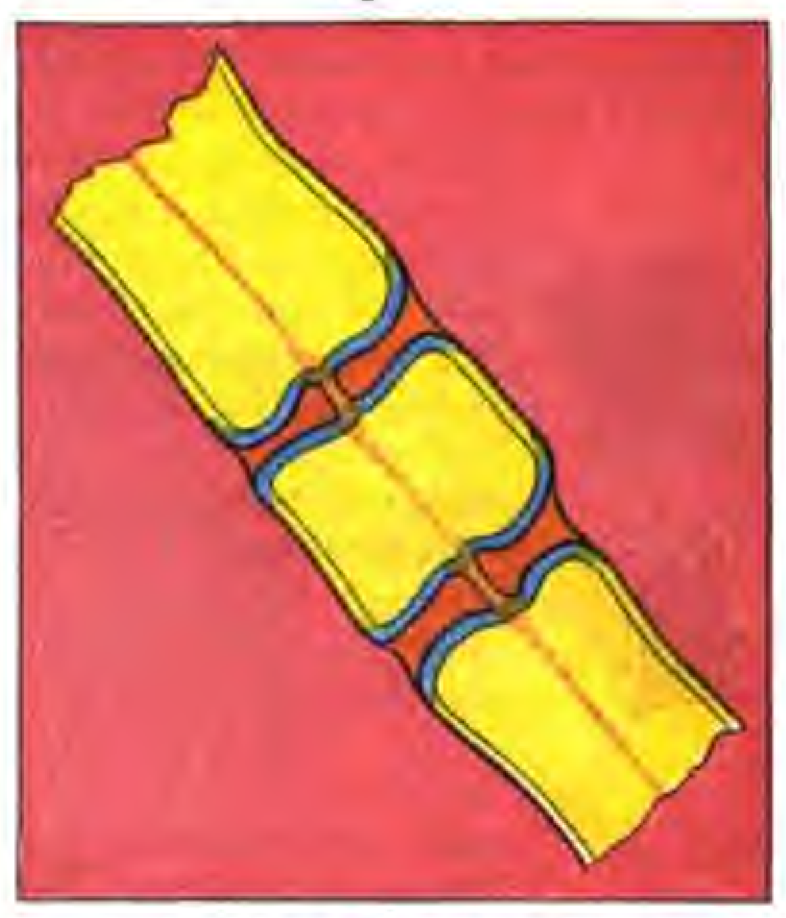
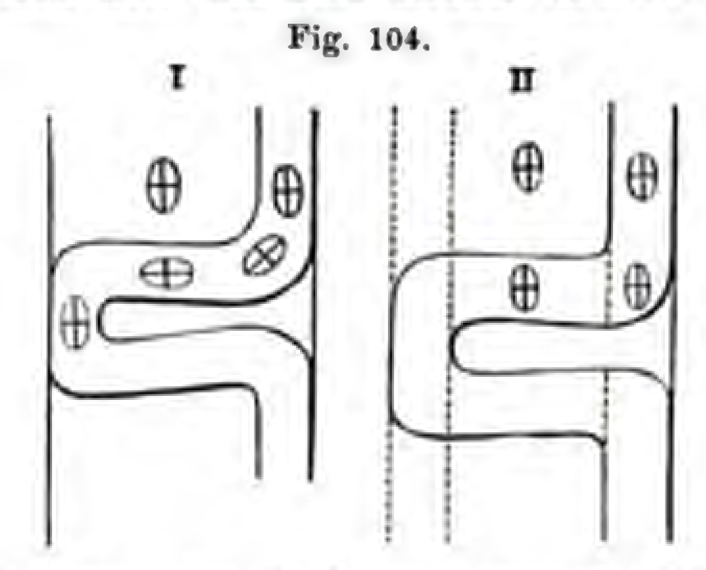


Fig. 103. Längsschnitt zweier benachbarter Zellwände aus dem Sameneiweiss von Phytelephas macrocarpa in polarisirtem Lichte, auf dem Gypsgrunde Roth I. Ordnung. Vergr. 1 : 500.

an Stelle des Blau tritt Gelb. Die Elasticitätsellipsen besitzen demnach in der Innenwand während ihres Verlaufes die in der Fig. 104, I, dargestellte Lage, womit ohne allen Zweifel dargethan ist, dass dieselbe eine ununterbrochen über den Zellhohlraum und die Porencanäle fortlaufende, in die Schliesswände der Poren übergehende Wandschicht bildet.

Fig. 104.



Würde sie ihr Auftreten den von Strassburger verfochtenen Umständen und Bauverhältnissen zu danken haben, so müsste nämlich die Stellung der Elasticitätsellipsen die in Fig. 104, II, wiedergegebene sein,

Digitized by Google

da, wie die Fig. 100, III, S. 173, ergiebt, die durch die Chromsäurewirkung hervorgerufenen (sicher von Ursprung an vorhandenen, wenn auch nicht sichtbaren) Schichtenblätter an ihren den Porencanälen zugewendeten Enden nicht umbiegen. Die aus dem geschilderten Verhalten zu ziehenden Schlüsse gewinnen aber an fester Begründung noch ganz besonders, wenn man ein der angezogenen Figur entsprechendes, durch rasches Einbringen in eine grössere Menge Wassers fixirtes und ausgewaschenes Chromsäurepräparat unter obiger Veranstaltung beobachtet. Jetzt zeigen die ganzen Längswände nur dieselben Farben, und zwar unter — 45° (mit der kleineren Elasticitätsachse des Gypsplättchens gleichlaufend) Subtractions- (Fig. 105), unter + 45° (mit der grössten Elasticitätsachse des Gypsplättchens gleichlaufend) Additionsfarben, also

Fig. 105.

Fig. 105. Mit Chromsäure behandelter Längsschnitt durch die Wände zweier benachbarter Zellen des Sameneiweisses von Phytelephas macrocarpa, auf dem Gypsplättchen Roth I unter — 45° orientirt.

auch die gleiche Lage des Elasticitätsellipsoids in allen ihren Theilen. Damit ist aber dargethan, dass sämmtliche nach der Auflösung der Innenwand noch vorhandenen Schichten einen zur Längsachse der Zelle gleichlaufenden Verlauf besitzen.

Wählt man zu den Polarisationsversuchen ein Object, bei welchem der Bau der Zellwände ein Einbiegen der in der That vorhandenen, wenn auch ohne vorgängige Behandlung mittelst eines Quellungsmittels nicht sichtbaren, gleichartigen Schichtenblätter in der Umgebung der Porencanäle voraussetzen lässt, und bei dem ausserdem die Doppel-

Digitized by Google

brechung nur schwach ist, wie z. B. aus dem inneren Theile des Sameneiweisses von Latania rubra (Fig. 106) oder Sagus amicarum („Apfelnuss"), dann geben bei sonst dem oben geschilderten gleichem Verhalten die Umbiegungsstellen in der Nähe der Porenauskleidung den rothen Gypsgrund wieder und vermöge der letzten Eigenschaft geht das Gelb in ein röthliches Orange, das Blau in Röthlichviolett über, so dass das Polarisationsbild wegen der geringen Farbenunterschiede ein weit weniger beweisendes wird. Hier wirkt das empfindlichere Uebergangsviolett III. Ordnung dann oft besser, als das Roth I. Ordnung.

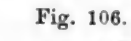


Fig. 106.

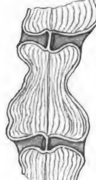


Fig. 106. Theil eines Längsschnittes aus dem Sameneiweiss von Sagus amicarum nach Behandlung mit 5 proc. Chromsäure. Vergr. 1 : 500.

Bei den mehrfach geschichteten Zellen mit verhältnissmässig sehr engen Porencanälen ist die Ermittelung des Baues der Poren etwas schwieriger durchzuführen. Indessen lassen auch hier recht dünne, gut geführte Querschnitte von passenden Objecten, z. B. aus dem Marke von Clematis, aus der das Gefässbündel umgebenden Faserzellenscheide von Lykopodiumarten u. s. w., erkennen, dass die stärker

Fig. 107.

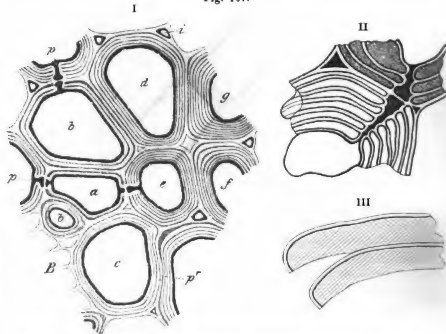


Fig. 107. I Querschnitt durch die das Gefässbündel umgebenden verdickten Zellen von Lycopodium spec. mex. II Theilstücke zweier Zellen unter Schwefelsäure gequollen. III zwei Schichten nach stärkerer Quellung. Vergr. 1 : 500.

Digitized by Google

lichtbrechenden Lamellen der jüngeren Zellwandgenerationen, über die minder dichten, schwächer lichtbrechenden hinübergreifend, in den Porencanal einbiegen, mit den älteren in innigen Zusammenhang treten und so den letzteren als scheinbar ununterbrochene Innenschicht auskleiden, während die der ältesten Generation in die Schliesswand übergeht. Besonders deutlich tritt dieses Verhältniss hervor, wenn in dem betreffenden Querschnitte ein- bis mehrschichtig verdickte Zellen gleicher Art vorkommen, wie es in der beistehenden, einem Querschnitte durch die gedachte Bündelscheide einer tropischen Lykopodiumart entnommenen Fig. 107, I, dargestellt ist. In Schwefelsäure nicht zu stark gequollene, recht dünne Querschnitte lassen den betreffenden Bau noch deutlicher hervortreten (Fig. 107, II), während weitgehende Quellung die Schichten aus ihrem Verbande löst und dann an den vereinzelten deren Structur erkennen lässt (Fig. 107, III). Wir haben es hier nicht mehr mit einer ununterbrochenen Auskleidung zu thun, wie bei der ersten Form der Schichtung, sondern mit einer solchen aus einer Anzahl von in engsten Verband getretenen, ohne vorherige Eingriffe nicht wahrnehmbaren Umbiegungen der Innenwand gebildeten, von denen jede folgende nur bis zu der vorhergehenden reicht.

Die Schliesswand wird auch da, wo sie scheinbar einfach erscheint, von einer auch zwischen den Primärwänden vorhandenen feinen Wandlamelle durchsetzt, welche durch Schwefelsäure nachweisbar ist, indem sie von dieser nicht, oder doch zuletzt angegriffen wird und zurückbleibt, wenn die übrigen Wandschichten bereits gelöst sind. Ebenso verhält sich dieselbe in einigen von mir beobachteten Fällen, so z. B. in dem Sameneiweiss von Ruscus aculeatus gegen Quecksilberkaliumjodid, welches hier die Innenschicht nach starker Quellung löst, während die äussere Schicht der secundären Verdickung nur wenig verändert erscheint. Bei der Quellung in Kalilauge wird sie gelöst und lässt nun die Schliesswand als aus zwei Blättern bestehend erkennen.

Als Objecte für das Studium der feineren, gleich der S. 169 betrachteten Structur, die unmittelbare Verbindung der lebendigen Zellleiber vermittelnden, gewöhnlich als „Protoplasmaverbindungen" bezeichneten Durchbrechung der Schliesswand, deren Vorhandensein noch keineswegs als allgemeines Vorkommniss erkannt, jedoch durch die neueren Untersuchungen von Kienitz-Gerloff als weit verbreitet nachgewiesen ist, empfehlen sich namentlich die hornartigen Sameneiweisse der Palmen, Liliaceen, Smilacaceen, mancher Leguminosen u. s. w., sowie das Rindenparenchym von Rhamnus Frangula, Viscum album, Aesculus Pavia, Hedera Helix, Nerium, Vinca, Viburnum Opulus, Cucurbita Pepo, das Collenchym der Cacteen, wie einer Anzahl der vorgenannten Pflanzen. Nur bei sehr günstigen Objecten, wie z. B. in dem Sameneiweiss von Smilax aspera und Lupinus pilosus, varius u. a. sind die meist sehr feinen, in ihrem Durchmesser in einer und derselben Schliesswand wechselnden, nur selten breiteren Canälchen, welche da, wo die die Schliesswand bildenden Innen-

Digitized by Google

wände der Nachbarzellen durch eine minder lichtbrechende Zwischenmasse von einander getrennt erscheinen, auch diese durchsetzen, ohne weitere Präparation mittelst vorzüglicher Objective zu erkennen (Fig. 108).

Fig. 108.

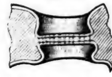


Fig. 108. Querschnitt durch einen Poren von Ruscus aculeatus. Vergr. 1 : 2250.

Meist jedoch erfordert hier schon, namentlich aber bei den übrigen Gewebearten der Nachweis derselben, insbesondere der dieselben durchsetzenden Protoplasmasträngchen, die Einwirkung quellender Mittel und dieser nachfolgende Färbung. In manchen Fällen genügt indessen bei dem Sameneiweiss hierzu schon erstere oder auch letztere allein. Quellung in Kalilauge oder Chromsäure zeigt z. B. beim Beginn der Wirkung die feinen Canälchen oft recht schön. Für die Sichtbarmachung der fraglichen Canälchen, aus denen bei reifen Samen die Protoplasmasträngchen meist zurückgezogen sind, durch blosse Färbung wendet man als Färbeflüssigkeit am besten wässerige Lösung von Gentianaviolett oder Säurefuchsin an. Derart behandelte feine Schnitte durch das Sameneiweiss von Smilax aspera z. B. gewähren prachtvolle, zum Studium dieses Bauverhältnisses besonders geeignete Bilder (Fig. 109).

Fig. 109.

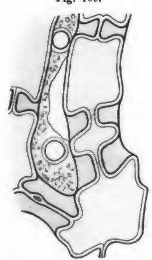


Fig. 109. Querschnitt aus dem Sameneiweiss von Smilax aspera mit Gentiana gefärbt. Vergr. 1 : 1000.

Ueberzeugende Resultate, besonders für nach der Färbung unter Umständen mittelst eines feinen Pinsels zu reinigende Quer- oder Secantenschnitte durch das Rindenparenchym und andere Gewebe liefert die Seite 167 beschriebene Methode. Bei saftigen Pflanzen brüht man nach dem von Fischer für die Siebröhren empfohlenen Verfahren Theile derselben vor Herstellung der Schnitte rasch mit kochendem Wasser ab und härtet mit absolutem Alkohol nach. Die Anwendung von verdünnter (3 Thle. Säure und 1 Thl. Wasser) oder concentrirter Schwefelsäure erfordert grössere Vorsicht, indem die Quellung rechtzeitig, namentlich bei den Rindenparenchymzellen oft schon nach sehr kurzer, etwa eine Secunde dauernder Einwirkung sofort unterbrochen werden muss. Man bringt zu dem Ende die Präparate in eine Schale mit einer grösseren Menge Wassers. Die Färbung wird hier ebenfalls mit den an gedachter Stelle genannten Färbeflüssigkeiten ausgeführt, nachdem man die Schnitte vorher durch sorgfältiges Auswaschen von aller Säure befreit hat. Auch die Chlorzinkjod- oder Jodkalium-Schwefelsäurebehandlung allein führt öfter schon zu günstigen Resultaten. Die gefärbten und in der früher beschriebenen Weise eingelegten oder auch unter Wasser beobachteten

Digitized by Google

Schnitte zeigen nun bei entsprechenden, namentlich durch Oelimmersionssystem gewonnenen, etwa 600- bis 800fachen oder auch stärkeren Vergrösserungen an dem Durchschnitte der Schliesswand die feinen, dieselbe durchsetzenden, wie schon erwähnt, in der Ebene der Cambialwand, welche durch Chlorzinkjodlösung oder Jod und Schwefelsäure, wie ich es schon 1851 beobachtet und beschrieben habe, nicht, durch Methylenblau und Methylviolett auswaschbar gefärbt wird (die Färbung durch Hämatoxylin oder Rutheniumroth sind hier, obwohl sie sonst lehrreich werden können, weil sie diese Wand färben, nicht allgemein verwendbar), knötchenartig angeschwollenen Abzweigungen von dem lebenden Zellkörper (Fig. 110). Auf der Flächenansicht von Zellen, welche beim Anschneiden oder durch die Einwirkung von Eau de Javelle ihren protoplasmatischen Inhalt verloren haben, erblickt man nach der Befeuchtung der Schnitte mittelst einer der zusammengesetzten Jodlösungen oder Jod und Schwefelsäure oder auch nach dem Auswaschen der in der besprochenen Weise hervorgerufenen Färbung die gefärbten Schliesswände hell punktartig oder netzförmig gefeldert (Fig. 111 [1]).

Fig. 110.

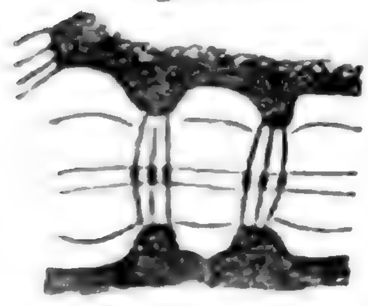


Fig. 110. Theil der Wand einer Zelle aus dem Querschnitte nahe unter dem Sprossgipfel eines Zweiges von Viscum album (nach Kienitz-Gerloff). Vergrösserung 1 : 2000.

Fig. 111.

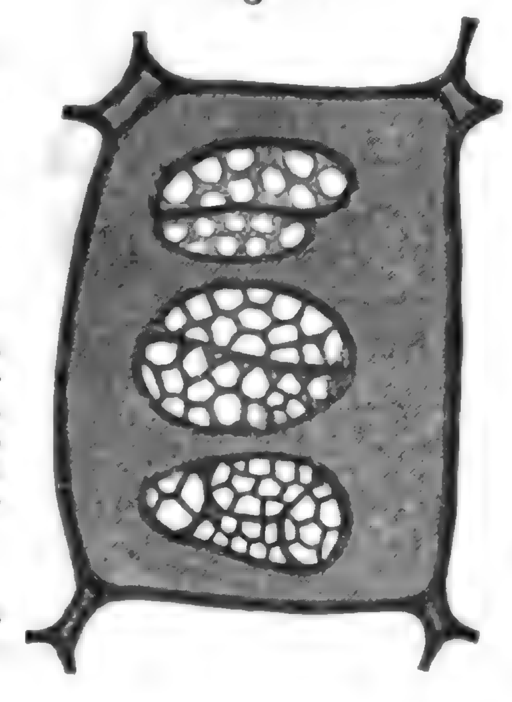


Fig. 111. Parenchymzelle von Balsamina hortensis mit Chlorzinkjod gefärbt. Vergrösserung 1 : 800.

Siebporen. — Die Siebporen sind als einfache Poren zu betrachten, deren als „Siebplatte" bezeichnete Schliesswand von leicht erkennbaren, mehr oder minder regelmässig viel-, meist fünf- bis sechsseitigen oder runden Oeffnungen durchbrochen erscheint (Fig. 112, II B u. III, a. f. S.). Um dieselben besonders deutlich hervortreten zu lassen, färbt man die Zellwände mit freien Siebplatten mittelst Chlorzinkjodlösung, Hämatoxylin, Gentiana u. s. w.

Die offene Verbindung der Siebporen, welche bei alten, abgestorbenen, siebförmig-porösen Zellen wohl immer zu beobachten ist, bleibt nur bei den jüngeren lebensthätigen während der Vegetationszeit erhalten (Fig. 112, I), verschwindet daher in der Ruheperiode der Vegetation bei

---

[1]) Ich habe dieses Verhältniss schon am Ende der sechziger Jahre bei Balsamina hortensis beobachtet und gezeichnet, leider aber die Veröffentlichung versäumt. Fig. 111 ist nach einer aus 1869 stammenden Zeichnung entworfen.

Digitized by Google

den ausdauernden, namentlich holzartigen Gewächsen meist ganz oder nahezu, um während des Sommers wieder hervorzutreten oder es wechseln die beiden Zustände selbst während der ersteren, wie z. B. bei der Linde. Der Verschluss wird durch eine eigenthümliche, stark lichtbrechende, bezüglich ihrer chemischen Eigenschaften erst in neuester Zeit von Mangin näher mikrochemisch erforschte, von demselben als „Callose“

Fig. 112.

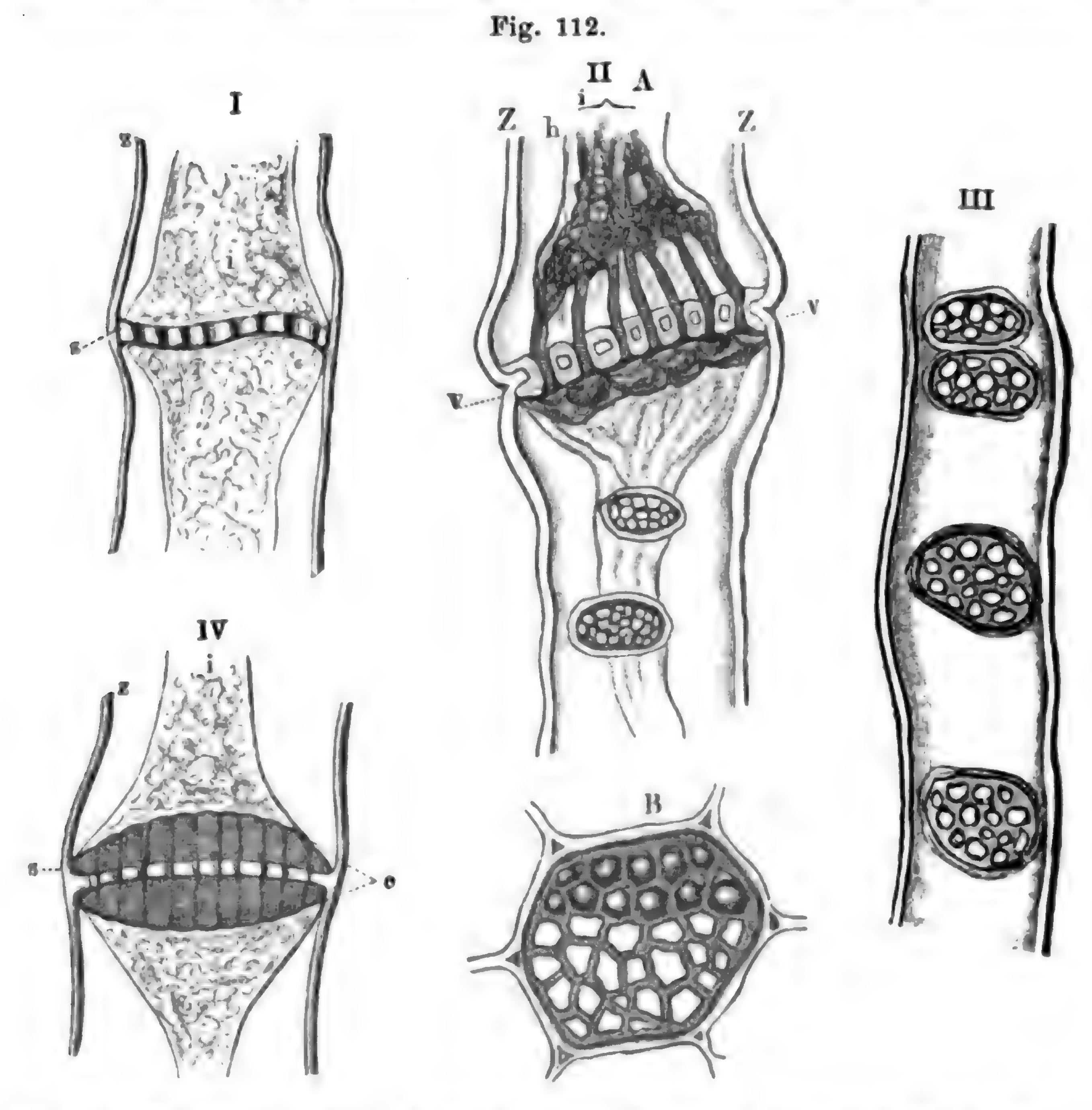


Fig. 112. Verschiedene Siebporen: I einer lebensthätigen Siebröhre von Bryonia alba im Längsschnitt, *z* Zellwand, *s* Siebplatte, *i* Inhalt; II aus Cucurbita pepo; *A* im Längsschnitt, *z* die Zellwand, *h* die Zellhaut, *v v* der Callus, *i* der Inhalt, welcher zusammengefallen ist und sich in Form von Streifen in die Löcher der Querscheidewand hineinzieht; *B* im Querschnitt, im oberen Theile mit der verdickenden Callusauflagerung, welche sich in Form von warzenförmigen Erhebungen darstellt; im unteren Theile frei. III Theil einer Zelle aus Larix europaea mit rundlichen Siebporen. IV Bryonia alba (Herbst) nach Behandlung mit Chlorzinkjod; *z* Zellwand, *i* Inhalt, *s* Siebplatte, *c* streifenzeigende Callusplatten. Vergr. 1 : 750.

bezeichnete, sich durch ihre Unlöslichkeit in Wasser, Alkohol und Kupferoxydammoniak, ihre Leichtlöslichkeit in 1 proc. Aetznatron- oder Aetzkalilauge sowie in concentrirten Lösungen von Chlorcalcium und Zinnchlorid, endlich durch ihre bis zu gallertartigem Bestande vorschreitende

Digitized by Google

Quellbarkeit in kalten Lösungen von Alkalicarbonaten und Ammoniak auszeichnende, erforschte Auflagerung bedingt, welche man als „Callus“ bezeichnet (Fig. 112, II A u. IV). Dieser Callus fängt schon früh an, sich zu bilden und überzieht auch bei jungen Siebporen schon in dünner Schicht die verdickten Wandstellen; später wächst er zu einem dicken Polster heran, das in die offenen Canäle übergreift und schliesslich diese fast oder gänzlich verstopft. Zum Nachweise der fraglichen Bildung dient Chlorzinkjodlösung, welcher man etwas Jod-Jodkaliumlösung zugefügt hat, Chlorcalciumjodlösung, ferner Soda-Corallin und wässerige Lösung von Anilinblau. Der Callus färbt sich nämlich mittelst ersteren Reagenzes tief rothbraun, mittelst Chlorcalciumjodlösung rosa, und wenn man mit Anilinblau vorgefärbt hatte, weinroth (Lecomte), mittelst Corallins, dessen Wirkung indessen nicht immer befriedigend und vorübergehend ist, hyacinthroth, mittelst Anilinblau — während sonst nur noch die Kerne gefärbt erscheinen — schön grünlichblau. Die Jodpräparate besitzen noch die weitere Eigenschaft, dass sie schärfere Begrenzung der Callusplatten bewirken und die feinere Structur derselben sichtbar machen. So erscheint die nach Anilinblaufärbung verwischte Umgrenzung nach nachfolgender Behandlung mit Chlorzinkjodlösung vollkommen scharf, während dieses Reagenz in den dicken Callusplatten von Cucurbita und Bryonia die feinen, nach den Sieböffnungen gerichteten Streifen zur Anschauung bringt (Fig. 112, IV).

Durch Anwendung von Natron- oder Kalilauge können nach dem Vorausgehenden die mit Callus bedeckten Siebporen von den Callusplatten befreit werden, indem dieselben durch das Reagenz zunächst aufquellen und schliesslich nach längerer Einwirkung der vollständigen Lösung anheimfallen.

Zur Beobachtung der Siebporen, welche weiter unten eine eingehendere Betrachtung erfahren werden, eignen sich vorzugsweise Querschnitte durch den Stengel unseres gemeinen Kürbisses, der Zaunrübe und des wilden Hopfens, sowie Längsschnitte durch den Bast der gemeinen Kiefer, des Weinstockes, des Osterluzeistrauches (Aristolochia Sipho) und der Lindenarten.

Behöfte Poren. — Behöfte Poren (Hofporen, behöfte Tüpfel, Hoftüpfel), deren Porencanal am Grunde, d. h. da, wo je zwei der benachbarten Zellen auf einander treffen, meistens beträchtlich erweitert ist (Fig. 113, I, a. f. S.), findet man nur bei solchen Zellenarten, welche, nachdem sie eine bestimmte Ausbildung erreicht und ihre sämmtlichen Verdickungsschichten gebildet haben, nur Luft führen. Sie sind daher bei den gefässartigen, mit Ausnahme der in dem äusseren Theile der Jahresringe der Coniferen auftretenden, minder stark verdickten Holzfasern (Tracheïden), sowie bei den Gefässzellen des Holztheiles der Gefässbündel stets zu finden. Bei den letzteren treten dieselben ausser auf den Seitenwänden auch auf der Querscheidewand entweder als kleinere (Ephedra)

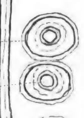
Digitized by Google

Fig. 113.

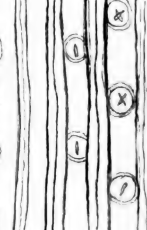
I

A

B

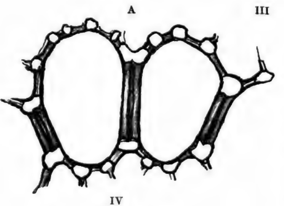


II

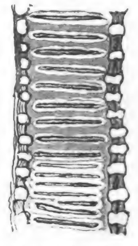


A

III



B



IV

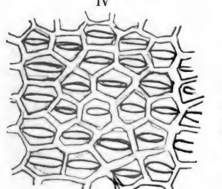


Fig. 113. I behöfte Poren des Holzes von *Pinus silvestris*; *A* im Querschnitt, *B* von der Fläche gesehen, *p* Porencanal, *h* Hof, *s* Schliesswand. II Längsschnitt durch das Herbstholz von *Abies pectinata*. III, *A* Quer-, *B* Längsschnitt aus dem Gefässbündel von *Pteris aquilina*. IV Theil eines Gefässes von *Cucurbita Pepo*. Vergr. I, II und III 1 : 500, IV 1 : 1120.

Digitized by Google

oder grössere (Esche, Buche, Ahorn u. s. w.) auf, und stellen so später die offene Verbindung der über einander stehenden Zellen her.

Der Hof erscheint der Quere oder der Länge nach durchschnitten als ein bald mehr gewölbter, elliptischer, bald flacherer bis spaltenförmiger Raum (Fig. 113, I u. III A). In der Flächenansicht erscheint derselbe in der Regel bei ausreichender Vergrösserung in der Gestalt eines doppelt umschriebenen Kreises (Fig. 113, I B und II), einer doppelt umschriebenen, dem Querdurchmesser der Zelle meist gleich gerichteten Ellipse (Fig. 113, III B), oder, wenn die Poren sehr dicht gedrängt stehen, wie bei manchen Gefässen, eines mehr oder minder regelmässigen Vielecks (Fig. 113, IV). Der Durchschnitt des Porencanals zeigt je nach Stärke der Verdickung eine grössere oder mindere Tiefe, während er auf der Flächenansicht bald der Gestalt des Hofes entspricht, bald in Form einer weiteren oder engeren, horizontalen (Fig. 113, IV), nach rechtsläufigen Schraubenwindung aufsteigenden oder mit der Längsachse gleichlaufenden Spalte auftritt (Fig. 113, II). Erscheint der Hof sowohl als der Porencanal bedeutend in die Länge gestreckt, so dass sich beide quer nahezu über die ganze Breite der Zelle hinziehen, so entsteht jene behöft poröse Verdickungsform, welche man als die treppen- oder leiterförmige bezeichnet hat (Fig. 113, III, A u. B). Dieselbe tritt namentlich bei den Gefässzellen der höheren Kryptogamen und Monokotyledonen auf. Sie findet sich aber auch an den Gefässzellen in der Markscheide der Nadelhölzer, sodann an den porösen Gefässen vieler Dikotyledonen, wie des Weinstockes und Gummibaumes (Ficus elastica), der Balsamine, des Schöllkrautes u. s. w.

Die behöften Poren sind, wie von Schacht und mir nachgewiesen wurde, in der Jugend stets geschlossen, verbleiben aber in diesem Zustande, wie zuerst Th. Hartig auf dem Wege der Injection mittelst feinkörniger Farbstoffniederschläge, dann Sanio durch genaue Untersuchung des Baues dargethan haben, auch noch lange Zeit nach Vollendung der Verdickung. Erst in dem älteren Kernholze verschwindet der Verschluss — wenn überhaupt — mehr oder weniger vollständig. Die Schliesswand, welche in dem jüngeren Holze (Splint) auf dem Querschnitte meist in der Mitte des Hofraumes auftritt (Fig. 113, I) und erst später in den dünnwandigeren Zellen an die Seite gedrückt erscheint (Fig. 115, I B u. II), besitzt hier einen eigenartigen Bau. Die Mitte erscheint auf gedachtem Schnitte stets mehr oder minder stark, und zwar in dem Herbstholze linsenförmig, in dem Frühlingsholze plattenartig verdickt. Diese Verdickung, welche, wie durch gute Macerationspräparate nachgewiesen werden kann, von der Cambialwand (Mittellamelle, Intercellularsubstanz) durchsetzt wird, mag als Polster (Torus Russows u. A.) bezeichnet werden. Der, soweit sich erkennen lässt, aus der verbliebenen Cambialwand gebildete ringförmige Randtheil erscheint in Form eines dünnen Häutchens entwickelt (Fig. 113, I A). Auf dem radialen Längsschnitte, also von der Fläche gesehen, giebt sich das Polster durch

Digitized by Google

einen den optischen Durchschnitt des Porencanals umgebenden Kreis zu erkennen (Fig. 113, I B, S. 184). Eine Durchbrechung der Schliesswand habe ich bis jetzt nur an den Hofporen der Gefässe von Erythrinaarten beobachtet und ist sie hier an Flächenschnitten schon ohne weitere Behandlung zu erkennen (Fig. 114), kann aber mittelst Färbung noch deutlicher sichtbar gemacht werden. Die Auskleidung des Porencanals wird auch hier von der Innenschicht der secundären Verdickung, d. h. der „Innenwand", gebildet und ebenso der mittlere verdickte Theil der Schliesswand. Schon das optische Verhalten der Primärwand und Innenschicht gewährt hierfür einen Entscheidungsgrund. Erstere bricht etwas stärker als die letztere. Stellt man nun mittelst eines starken, für die Tiefenperspective empfindlichen Objectives auf jene derart ein, dass sie im stärksten Glanze

Fig. 114.

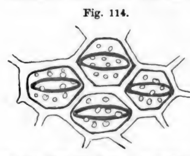


Fig. 114. Theil eines Gefässes von Erythrina Crista-galli. Vergr. 1 : 1000.

Fig. 115.

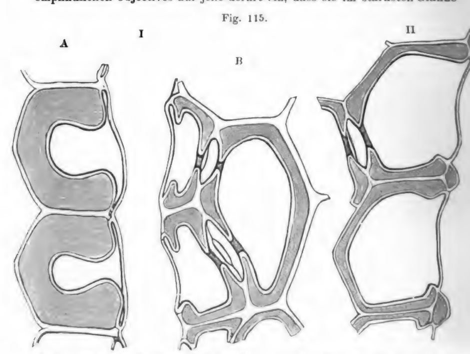


Fig. 115. Halb behöfte Poren. I, A aus dem Herbstholze, B aus dem Frühlingsholze von Pinus canariensis. II aus dem Frühlingsholze von Pinus silvestris. Vergr. 1 : 800.

und scharf begrenzt erscheint, so verräth letztere ein mattes Aussehen und ist nicht ganz scharf begrenzt und umgekehrt. Die für die Erkenntniss

Digitized by Google

dieses Verhältnisses bei den einfachen Poren angewendeten Methoden führen hier nicht zu so sicheren Resultaten wie dort. Jedoch zeigt die Quellung ganz entschieden, dass wir es in der Auskleidung keineswegs mit Schichtenköpfen zu thun haben. Werden Querschnitte so lange mit dem Schulz'schen Macerationsgemisch bei gewöhnlicher Temperatur behandelt, dass die Zellen nach längerer Einwirkung von Chlorzinkjodlösung Zellstoffreaction zeigen, so zeichnet sich die Innenwand sammt der Schliesswand durch hellere Färbung vor der übrigen secundären Verdickung aus, während die Primärwand hellgelb erscheint. Die Schliesswand erscheint dabei wie letztere von einer feinen goldgelben Linie (der veränderten Cambialwand) durchsetzt.

Einseitig behöfte Poren. — Einseitig halb behöfte oder behöfte Poren (Fig. 115) kommen überall da vor, wo eine der vorgenannten Zellenarten an Parenchymzellen grenzen. Bei ihnen ist bloss der eine, einer Holz- oder Gefässzelle angehörende, den der doppelt behöften Poren an Weite in der Regel übertreffende Porencanal am Grunde deutlich erweitert, der andere nahezu von der Weite des Hofes oder fehlt ganz und die Schliesswand bleibt von gleicher Dicke.

Doppelartige Verdickung.

Eine Vereinigung der porösen Verdickungsform mit der spiralförmigen oder netzförmigen, deren wir schon vorübergehend gedacht haben, findet sich bei manchen Holz- [Taxus, Viburnum Lantana, Cytisus, Herbstholz der Fichte (Abies excelsa) u. s. w.] und Gefässzellen (Tilia, Lonicera, Viburnum Lantana, Acer u. s. w.). Hier entsteht nach der Anlage der behöften Poren ein mehr oder weniger weit gewundenes Spiralband oder eine netzfaserige Verdickung. Im ersten Falle zeigt das Spiralband oft links aufsteigende Windung, während die spaltenförmigen Porencanäle einer rechts aufsteigenden Schraubenlinie folgen (Fig. 116, I), im anderen

Fig. 116.

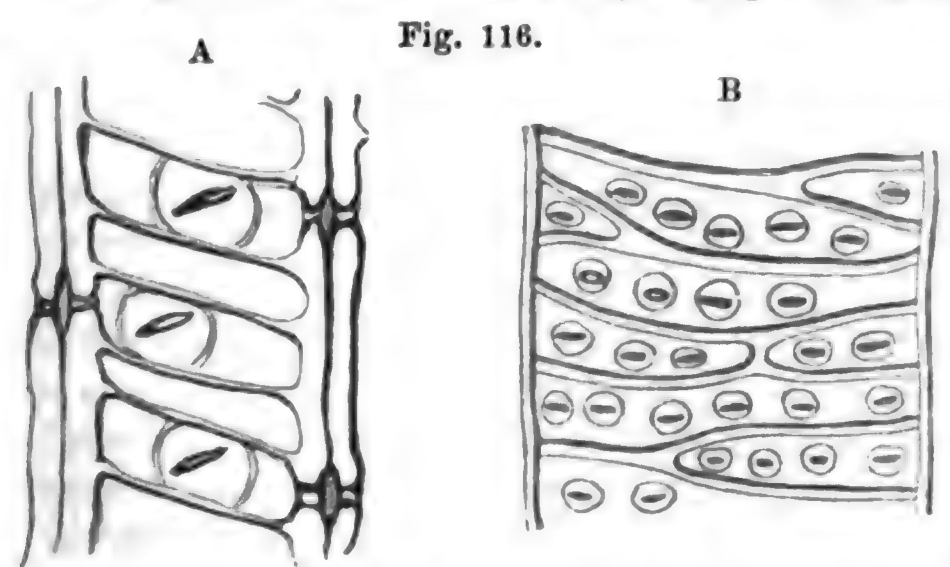


Fig. 116. *A* Theil einer spiralig-porösen Gefässzelle von Lonicera caprifolium. Vergr. 1 : 660. *B* Stück einer Röhrenzelle von Tilia ulmifolia. Vergr. 1 : 420.

Digitized by Google

finden sich zwischen den Netzfasern einige kleine behöfte Poren mit spaltenförmigen horizontalen Porencanälen (Fig. 116, II, a. v. S.).

Dass hier das Schraubenband nicht etwa durch eine Verdickung der Innenschicht gebildet, sondern der weniger lichtbrechenden Schicht angehört, lässt sich klar an Tangentialschnitten nachweisen. Die Holzfasern in dem äusseren Theile der Jahresringe von Abies excelsa sowie jene von Taxus baccata z. B. gewähren auf feinen Längsschnitten Bilder, wie sie in der Fig. 117 dargestellt sind. Die zwischen den Schraubenbändern gelegenen Räume werden hier, wie der Augenschein lehrt, durch seichtere oder tiefergehende Einsenkungen der mittleren, minder stark brechenden secundären Verdickung hervorgerufen, denen sich die Innenschicht genau anschmiegt. Die weniger dichte, mittlere Zellwandschicht ist daher an den zwischen den hellen Spiralstreifen liegenden Stellen weniger verdickt als an anderen Stellen, welche unter der Gestalt der letzteren hervortreten. An etwas dicken Längsschnitten gewinnt man Ansichten, welche dazu verleiten könnten, die Verdickung in die Innenwand zu verlegen, weil man daran die Ansatzstellen der Spiralbänder an den Wandseiten wie knötchenförmige Verdickungen sieht; allein gelungene Schnitte belehren sofort eines anderen, indem man die von der letzteren umgebenen Hervorragungen der weichen Lamelle deutlich erblickt. Dieses Structurverhältniss erkennt man an frischem Material, bei welchem von einer Eintrocknung und einem durch diese veranlassten Einsinken der weichen Lamelle keine Rede sein kann.

Fig. 117.

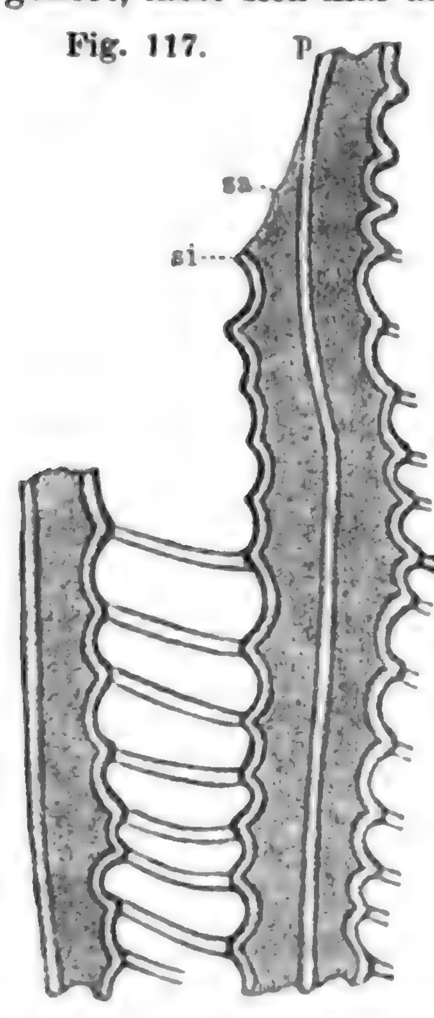


Fig. 117. Theil eines Tangentialschnittes aus dem äusseren Theile des Jahresringes von Picea vulgaris. *p* Primärwand, *sa* secundäre Verdickung, *si* Innenwand. Vergr. 1 : 2000.

B. Verdickung durch Schleim.

Die Verdickung durch aus dem Protoplasma abgeschiedene Schleimauflagerung innerhalb der primären Zellstoffwand findet sich einerseits in der Oberhaut der Samen (Linum, Sinapis, Cydonia u. s. w.) und der Blätter (Quercus, Corylus, Alnus, Acer, Tilia, Althaea, Arbutus, Cassia) mancher Pflanzen, und zwar bei letzteren vorzugsweise in einzelnen der Oberseite, andererseits tritt sie in dem Sameneiweiss mancher Leguminosen sowie in Rinde und Mark der Sprosse einer Anzahl von Pflanzen (Malvaceen, Tiliaceen, Sterculiaceen, Rhamneen, Cacteen) auf.

Die Schleimauflagerung, welche in gleicher Weise erfolgt und ähnliche, jedoch meist nicht gleich regelmässige, sondern mehr oder minder

Digitized by Google

verbogene Schichtung zeigt, wie sie bei der voranstehend behandelten Verdickungsweise vorkommt, dabei öfter nach Innen durch eine Zellstoffschicht abgeschlossen, hier und da auch inmitten von einer solchen durchbrochen wird, erscheint im ersten Falle an der Aussen- (Samenschale) oder Innenwand (Blätter) der betreffenden Oberhautzellen (Fig. 118, I). Im anderen erstreckt sie sich mehr oder minder gleichmässig oder in an

Fig. 118.

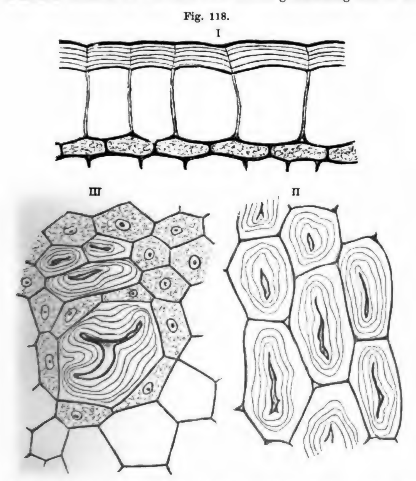


Fig. 118. Querschnitte. I durch die Samenschale von Linum im Beginne der Quellung. II aus dem Sameneiweiss von Trigonella Faenum graecum. III durch das Mark von Tilia heterophylla. Vergr. I und II 1 : 400, III 1 : 240.

verschiedenen Stellen beträchtlich wechselnder Dicke über den ganzen Umfang der Primärwand (Fig. 118, II u. III).

Die hier in Betracht kommenden Zellen, welche im Querschnitte der Blattoberhaut und der Sprossinternodien einzeln oder in Gruppen von zwei bis fünf auftreten, im Längsschnitte meist in Reihen von mehreren

Digitized by Google

bis zahlreichen über einander stehen, zeichnen sich von den sie umgebenden in der Regel durch ihre oft sehr bedeutend überwiegende Grösse aus. So beträgt z. B. ihr Durchmesser im Marke der Linde bis über 200 μ, während derjenige der übrigen Zellen im Mittel etwa 30 bis 40 μ erreicht.

Wasser bringt die Schleimschichten zum Quellen und schliesslich meist auch zur Lösung. Alkohol, welcher hier auch zweckmässig zur Aufbewahrung der betreffenden Pflanzenstücke Verwendung findet, härtet oder fällt dieselben körnig, indem sie eine schmutzig graugelbe oder graubräunliche Färbung annehmen. Behandelt man Schnitte von Alkoholmaterial mit Wasser und darauf mit Alkohol, so werden die Schleimmassen aufgehellt und es zeigen sich die gekörnelten Schichten deutlich. Glycerin-Alkohol (beide zu etwa gleichen Theilen gemischt) ruft in den homogen erscheinenden Schleimverdickungen (Sameneiweiss) anfänglich Schichtung (Fig. 118, II, a. v. S.) hervor und wandelt diese dann in eine körnige Masse um. Glycerin allein bewirkt, je nach seinem Wassergehalte, eine mehr oder weniger langsame Quellung und ist da als Beobachtungsflüssigkeit am Platze, wo man die Stufenfolge der letzteren zu beobachten wünscht. Beim Zutreten zu einem in Wasser liegenden Präparate der homogenen Schleimeiweisse macht es meist die Schichtung hervortreten (Fig. 118, II). Gegen die früher genannten Reagentien und Färbeflüssigkeiten verhalten sich die Schleimverdickungen im Wesentlichen ähnlich wie die Inhaltsschleime, so dass sich auch hier Pectoseschleime (die meisten) und Stärke-(Cellulose-)schleime (Samen von Sinapis und Cydonia, Fruchtschale von Salvia und vielleicht manche Sameneiweisse der Leguminosen, welche sich, wie das von Trigonella faenum-graecum, mit Ruthenium- und Neutralroth nicht färben) unterscheiden lassen. Besonders schöne, die Schichtung gut bewahrende Präparate liefern die Färbungen mit der Lösung von Rutheniumroth in Bleiacetat (carminroth) und alkoholischer Lösung von Neutralroth (rothorange bis blutroth).

Zur Aufbewahrung von ungefärbten, Alkoholmaterial entnommenen Schnitten eignet sich sehr gut Ricinusöl. Man bringt dieselben zunächst in eine Mischung von gleichen Theilen des Oeles mit Alkohol, überträgt nach dem Verdunsten des letzteren in ersteres und verschliesst mittelst Paraffin-Canadabalsam und später mit Bernsteinlack. Die mittelst der beiden genannten Färbeflüssigkeiten behandelten Schnitte können nach Auswaschen in Alkohol und Aufhellen mittelst Xylol-Alkohols und Xylols in Canadabalsam eingelegt werden.

Purkinje: De cellulis antherarum fibrosis etc. Breslau 1830.

H. v. Mohl: 1. Ueber die fibrosen Zellen der Antheren. Flora 1830, S. 697; und Vermischte Schriften S. 62. 2. Erläuterung und Vertheidigung etc. 1836. 3. Untersuchungen über die porösen Zellen von Sphagnum. Dissertation 1837. Vermischte Schriften, S. 294. 4. Ueber den Bau der vegetabilischen Zellmembran. Dissertation 1837. Vermischte Schriften, S. 314. 5. Einige Andeutungen über den Bau des Bastes. Bot. Ztg. 1855, S. 873. 6. Ueber den

Digitized by Google

Bau der Ringgefässe. Flora 1839. Vermischte Schriften, S. 285. 7. Ueber die Zusammensetzung der Zellmembran aus Fasern. Bot. Ztg. 1853, S. 753.

Meyen: Neues System der Pflanzenphysiologie. Bd. I, S. 12 u. flgde. 1837.

Schleiden: 1. Ueber den Bau der Zellmembran bei Moosen und Lebermoosen. Ueber die Spiralzellenschicht in der Frucht der Laurineen. Wiegmann's Archiv 1839, Bd. I, S. 253, und Beiträge zur Botanik, S. 60 u. 81. 2. Bemerkungen über Spiralbildungen in den Pflanzenzellen. Flora 1839, Nr. 47, 48. Beiträge zur Botanik, S. 185.

Th. Hartig: 1. Beiträge zur Entwickelungsgeschichte der Pflanzen. Braunschweig 1842. 2. Ueber die Querscheidewände zwischen den einzelnen Gliedern der Siebröhren in Cucurbita. Bot. Ztg. 1854, S. 51.

Pringsheim: De forma et incremento stratorum crassiorum in plantarum cellula observationes quaedam novae. Linnaea 1848, S. 45.

Agardh: De cellula vegetabili febrilis tenuissimis contexta. Lundae 1852.

Caspary: Ueber Streifung der Zellwand, verursacht durch Wellung. Bot. Ztg. 1853, S. 801.

H. Crüger: 1. Die Primitivfaser. Bot. Ztg. 1854, S. 57 u. 833. 2. Zur Entwickelungsgeschichte der Zellwand. Bot. Ztg. 1855, S. 601.

Schacht: 1. Ueber die Verdickungsweise der Zellwand. I. Welcher Art ist die Bildung der Verdickungsschichten, sind es wirklich Primitivfasern u. s. w.? und II. Sind die Formen der Verdickungsschichten, die Spiralbänder, Ringe u. s. w. allein als die Folge der Lebenserscheinungen etc. zu betrachten, oder u. s. w.? Beiträge zur Anatomie und Physiologie 1854, S. 221 u. 248. 2. Ueber Tüpfelbildung. Bot. Ztg. 1859, und De Maculis, Bonn 1860.

A. Wigand: Ueber die feinste Structur der vegetabilischen Zellmembran. Schriften der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften zu Marburg 1856.

C. Nägeli: 1. Ueber die Siebröhren von Cucurbita. Bot. Mittheilungen, Heft 1. Leipzig 1861. 2. Ueber den inneren Bau der vegetabilischen Zellmembran. Sitzungsberichte der köngl. bayerischen Akademie der Wissenschaften 1864. 1. Heft IV, S. 282; 2. Heft II, S. 114.

Sanio: 1. Ueber den Bau des Tüpfel und Hofes. Bot. Ztg. 1860, S. 193. 2. Ueber die tertiäre Verdickungsschicht der Holzzellen. Ebendaselbst, S. 201. 3. Anatomie der gemeinen Kiefer. Pringsheim's Jahrb., Bd. IX, S. 50, 1873.

Dippel: 1. Ueber die Entstehung und den Bau der Tüpfel. Bot. Ztg. 1860. 2. Das Mikroskop, Bd. II, S. 77. 3. Die neuere Theorie u. s. w. Abhandl. d. Senkenb. Gesellsch., Bd. XI, S. 154 und Separatabdruck S. 62, 1878. 4. Die Anwendung des polarisirten Lichtes in der Pflanzenhistologie. Zeitschr. f. wissenschaftl. Mikroskopie, Bd. I, S. 210, 1884.

Winkler: Zur Anatomie von Araucaria brasiliensis. Bot. Ztg. 1872, S. 581.

Stoll: Ueber die Bildung des Callus bei Stecklingen. Bot. Ztg. 1874, S. 737, Taf. XII, Fig. 8 u. 9.

Kny: Botanische Wandtafeln mit erläuterndem Texte. Berlin 1874.

Pfitzer: Beobachtungen über Bau und Entwickelung epiphyter Orchideen. Flora 1877, S. 241.

Richter: Beiträge zur Kenntniss der Cystolithen u. s. w. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. in Wien, Bd. 76, S. 145, 1877.

Tangl: 1. Ueber offene Communication zwischen den Zellen des Endosperms einiger Samen. Pringsh. Jahrb. Bd. XII, S. 170, 1880. 2. Zur Lehre von der Continuität des Protoplasmas im Pflanzengewebe. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. in Wien, Bd. 90, 1. Abth., S. 10, 1884. 3. Studien über das Endosperm einiger Gramineen. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. in Wien, Bd. 92, 1. Abth., S. 72, 1885.

Wilhelm: Beiträge zur Kenntniss des Siebröhrenapparates dikotyler Pflanzen. Leipzig 1880.

Digitized by Google

Fromann: Beobachtungen über Structur u. s. w. des Protoplasmas der Pflanzenzellen. Jena 1880.

Höhnel: Notizen über die Mittellamelle der Holzelemente und die Hoftüpfelschliessmembran. Bot. Ztg. 1880, S. 450.

Möller: Zur Frage der Tüpfelschliessmembran. Ebendas. S. 720.

Russow: 1. Ueber die Verbreitung der Callusplatten bei den Gefässpflanzen. Sitzungsber. d. Dorpater Naturforscher-Gesellsch. 1881, Bd. VI, S. 63. 2. Ueber die Entwickelung des Hoftüpfels der Membran der Holzzellen und des Jahresringes bei den Abietineen, in erster Linie von Pinus silvestris. Ebendaselbst, S. 108. 3. Ueber Bau und Entwickelung der Siebröhren. Ebendas. S. 257. 4. Ueber Tüpfelbildung des Bastparenchyms und der Baststrahlzellen der Dikotylen und Gymnospermen. Ebendas. S. 350. 5. Gegenbemerkungen zu den Bemerkungen von Dr. C. Sanio. Bot. Centralbl., Bd. X, S. 62, 1882. 6. Zur Kenntniss des Holzes, insonderheit des Coniferenholzes. Bot. Centralbl., Bd. XIII, S. 29, 1883. 7. Ueber den Zusammenhang der Protoplasmakörper benachbarter Zellen. Separatabdr. a. d. Sitzungsber. d. Dorp. Naturf.-Gesellsch. September 1883.

Strassburger: a. a. O. 1882.

Mikosch: Untersuchungen über die Entwickelung und den Bau der Hoftüpfel. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. in Wien, Bd. 84, 1. Abth., 1882.

Pfurtscheller: a. a. O. S. 56.

Hillhouse: Einige Beobachtungen über den intercellularen Zusammenhang von Protoplasten. Bot. Centralbl., Bd. XIV, S. 89.

Gardiner: An the continuity of the protoplasm through the walls of vegetable cells. Arb. d. bot. Inst. zu Würzburg, Bd. III, S. 52, 1884.

Schaarschmidt: Ueber den Zusammenhang der Protoplasten und über das intercellulare Protoplasma mit besonderer Rücksicht auf die Loranthaceen und Coniferen (Separatabdr. in ungarischer Sprache mit 3 Tafeln). Referat vom Autor: Bot. Centralbl., Bd. XIX, S. 265, 1884.

Terletzki: Anatomie der Vegetationsorgane von Struthiopteris germanica und Pteris aquilina, Nachtrag. Pringsh. Jahrb., Bd. XV, S. 495, 1884.

Hick: Protoplasmic continuity in the Rucaceae. Journ. of Bot., Vol. 23, p. 97, 1885.

Wiesner: a. a. O.

Krabbe: a. a. O.

Zimmermann: a. a. O.

Correns: a. a. O.

Kienitz-Gerloff: Die Protoplasmaverbindungen zwischen benachbarten Gewebselementen in der Pflanze. Bot. Zeitung 1891.

Ausserdem findet sich hierher Bezügliches in den betreffenden Abschnitten der Lehr- und Handbücher.

Trécul: Des mucilages chez les Malvacees, les Tilleuls, les Sterculiacees, les Cactees et les Orchidees indigènes. S'Institut 1862.

Frank: Anatomische Bedeutung und Entstehung des vegetabilischen Schleimes. Pringsh. Jahrb., V, S. 161. 1865.

Uloth: Pflanzenschleim und seine Entstehung. Flora LVIII, S. 193. 1875

Tschirch: Angewandte Pflanzenanatomie. S. 193. 1889.

Nadelmann: Ueber Schleimendosperma der Leguminosen. Pringsh. Jahrbücher, XXI, S. 609. 1890.

Walliczek: Studien über die Membranschleime vegetativer Organe. Pringsh. Jahrb., XXI, S. 207. 1893.

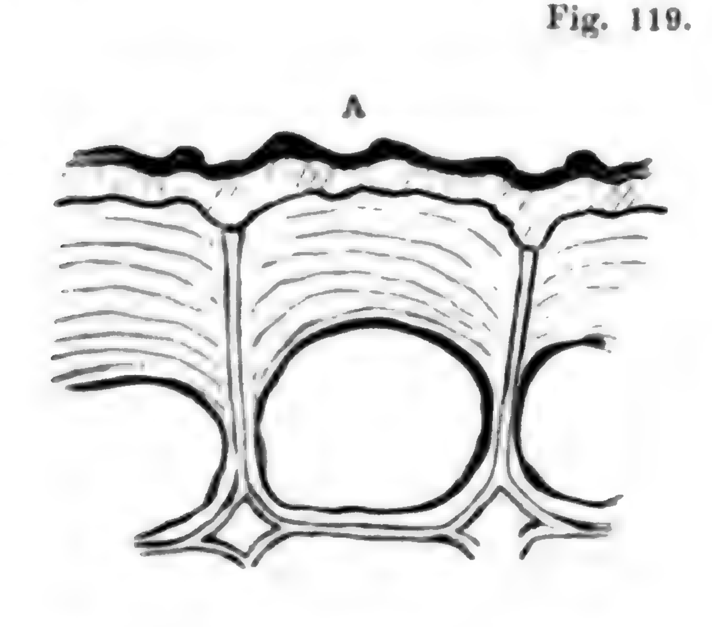
Digitized by Google

2. Aussenverdickung.

Die Aussenverdickung, centrifugale Verdickung, deren Entstehung nach den Untersuchungen von Strassburger, Leitgeb und Schenk in verschiedener, hier nicht zu erörternder Weise vor sich gehen kann, findet sich überall nur da, wo die Zellen vollständig freie, nicht mit denen anderer Zellen in Verbindung stehende Wände oder Wandstücke besitzen. Man trifft sie namentlich bei den Oberhaut- und Haarzellen, ferner bei den allseitig freien Pollenkörnern der Phanerogamen und den Sporen der Kryptogamen.

Um diese Verdickungsform an der Aussenseite der Oberhautzellen zu beobachten, fertige man dünne Quer- oder Längs-, sowie Flächenschnitte durch Blätter oder grüne Stengeltheile an. Als besonders geeignete Objecte empfehlen sich die Blätter von Helleborusarten, die älteren Blumenblätter von Syringa persica, Narcissus Tacetta, ferner die Hüllschuppen der Dolden und die Blüthenstielchen von Cornus mascula. Man erkennt dann auf dem Querschnitt diese Verdickungen als meist unregelmässig ausgebildete leistenartige Vorsprünge, auf der Flächen-

Fig. 119.



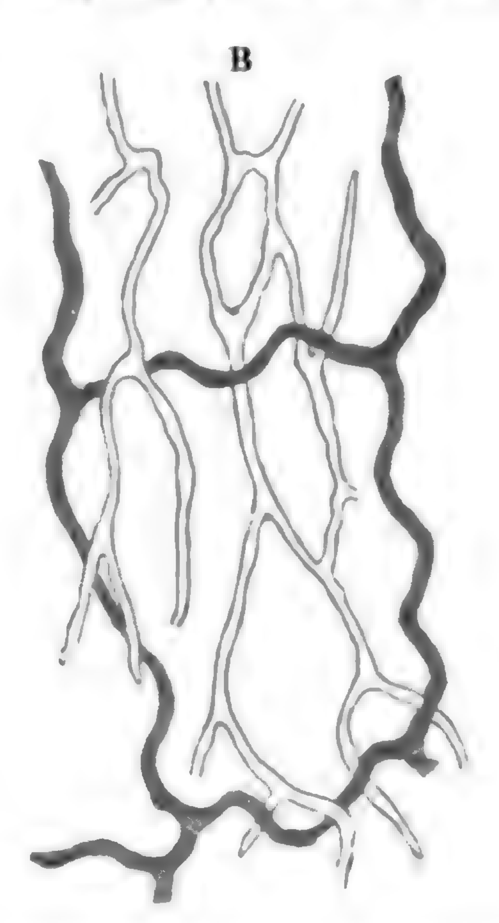


Fig. 119. A Quer-, B Flächenschnitt aus der Blattoberkant von Helleborus foetidus. Vergrösserung 1 : 600.

ansicht als auch über die Querwände fortlaufende, oft zierlich verästelte und netzartig mit einander verbundene Längsleisten (Fig. 119).

Die Haare zeigen zerstreute oder hier und da auch mehr regelmässige, knötchenartige Hervorragungen, welche bald abgerundet, bald kegelförmig, hakenförmig u. s. w. gestaltet (Fig. 120, a. f. S., und 64, III, S. 126) sind und ihre Entstehung bald einer Ausbuchtung der jugend-

Digitized by Google

lichen Primärwand, bald Knötchenbildungen und Faltungen der Cuticula, bald der Einlagerung einer Substanz zwischen Cuticula und Zellstoffwand, bald der Anlagerung von Kalkoxalatkryställchen an der Primärwand und Einschluss derselben durch die Verdickungsschichten verdanken. Man verwendet zur Beobachtung entweder abgezogene Oberhautstücke oder Schnittpräparate. Um das Verhalten der verschiedenen Wandschichten bei dieser Verdickungsform zu beobachten, kann man die betreffenden Gebilde in die H., S. 773, G., S. 365 beschriebenen Einbettungsmassen einschliessen und feine Querschnitte anfertigen, oder auf den „optischen" Längsschnitt einstellen. Auf beide Arten von Präparaten wendet man dann noch Quellungsmittel, Chlorzinkjod, Jod und Schwefelsäure, sowie verschiedene Färbeflüssigkeiten, namentlich aber Hämatoxylinlösung, diese mit Fuchsin oder Methylgrün (zur Doppelfärbung) und Congoroth an, wodurch sich die verschiedenen Wandschichten und ihre Betheiligung an der Verdickung kenntlich machen lassen.

Fig. 120.

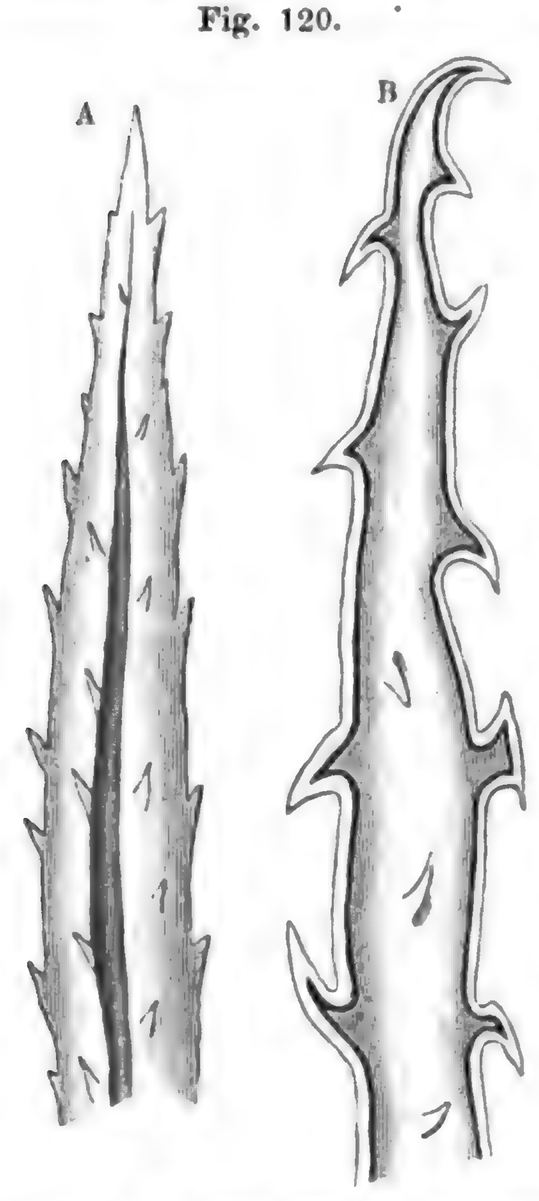


Fig. 120. *A* Haar aus der Blattoberfläche von Loasa tricolor, *B* desgleichen von Onobrychis montana. Vergr. 1 : 800.

Als Beobachtungsobjecte nenne ich für die verschiedenen Entwickelungsweisen: die jungen Zweige und Blätter von Loasa und Cajophora, Onobrychis montana, Hydrangea arborescens, Delphinium formosum, Diervilla coraeensis, Lamium maculatum, Galium cruciatum, Cornus mascula und tatarica, Campanula medium, Alyssum alpestre, Erystimum aureum, Bunias orientale, Deutzia scabra u. s. w.

Die Wandung der Sporen und Pollenkörner besteht aus drei Schichten, der Innenschicht (Intine), der Mittelschicht (Exine, Exosporium neuerer Autoren) und der Aussenschicht (Perine, Episporium). Die letztere erscheint nur selten gleichmässig verdickt, sondern zeigt die zierlichsten Aussenverdickungsformen, von denen nur die einen durch ein centrifugales Wachsthum einzelner Stellen hervorgerufen sind, während andere sich auf die gewöhnliche (centripetale) Verdickungsweise zurückführen lassen. Zu den ersten Verdickungsformen gehören die warzenförmigen Erhebungen bei Viscum, die Stacheln der Malvaceen und Cucurbitaceen, Convolvulaceen u. s. w. (Fig. 121), die zu regelmässig sechsseitigen Feldern mit einander verbundenen, häufig zierlich kammartigen Leisten

Digitized by Google

der Cichoriaceen, zu den anderen die porenartige durchbrochene Verdickung der Aussenwand bei den Nyctagineen und Convolvulaceen.

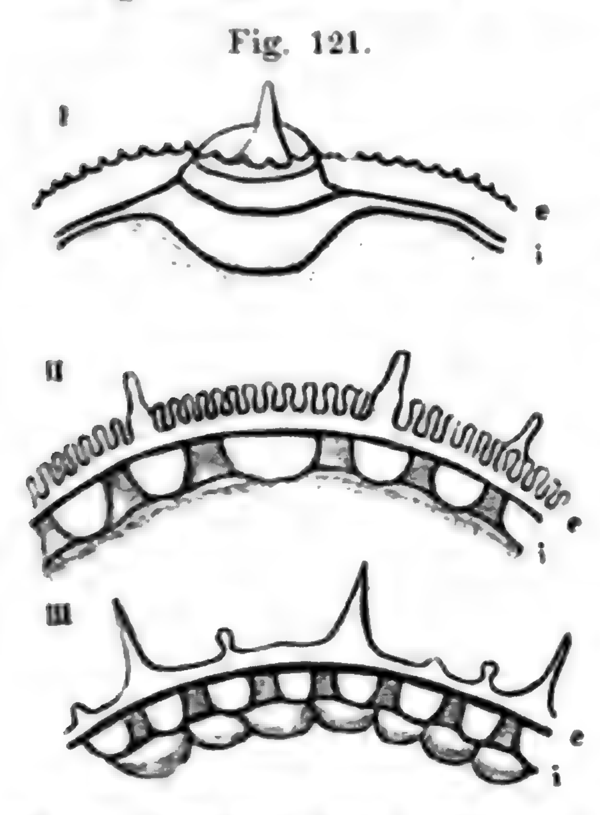


Fig. 121. Querschnitt durch das Pollenkorn; I von Cucurbita Pepo, II von Convolvulus althaeoides, III von Althaea rosea; e Exine, i Intine. Vergr. 1 : 1200.

Um sich mit dem Bau der Wandverdickung der Pollenkörner und Sporen bekannt zu machen, ist es nothwendig, sowohl, und zwar mehr zur allgemeinen Orientirung, unverletzte Körner als zarte, für die hier in Frage kommenden Gestaltungen den erforderlichen Einblick gewährenden Durchschnitte zu beobachten. Im ersteren Falle muss man Zusatzflüssigkeiten anwenden, welche dem Korne eine grössere Durchsichtigkeit verleihen, wie Citronenöl oder andere flüchtige Oele. Ebenso empfiehlt sich eine Behandlung mit den für die Zellwand- und Inhaltsuntersuchungen im Allgemeinen gebräuchlichen Reagentien. Feine Durchschnitte lassen sich in der auf voriger Seite erwähnten Weise ohne grosse Schwierigkeiten anfertigen. Unter den erhaltenen Schnitten wählt man dann aber sorgfältig diejenigen aus, welche entweder eine Mittellamelle vorstellen, oder das Korn in einer bestimmten, für die Kenntniss des Baues bedeutsamen Richtung getroffen haben. Auch auf derartige Schnitte wird die manche Einsichten in die feinere Structur gewährende Anwendung, namentlich der Zellstoffreagentien verschiedener Säuren, sowie der Aetzkalilauge von Wichtigkeit.

Leitgeb: Ueber den Bau und Entwickelung der Sporenhäute. Graz 1884.

Luerssen: Ueber centrifugales, locales Dickenwachsthum innerer Parenchymzellen der Marattiaceen. Bot. Zeit. 1873, Nr. 41.

Schenk: Untersuchungen über die Bildung von centrifugalen Wandverdickungen an Pflanzenhaaren und Epidermen (Inaugural-Dissertation). Bonn 1884.

Schacht, Hofmeister, Sachs, Strassburger: a. a. O.

III. Chemische Umbildungen der Zellwand.

Sämmtliche Schichten der unter dem Namen Zellwand zusammengefassten, den lebendigen Zellkörper umschliessenden Hülle, an der bei den geschlossenen Geweben die Cambialwand oder Mittellamelle in der von mir aufgestellten Bedeutung (Intercellularsubstanz), die Primärwand und die secundäre Verdickung zu unterscheiden sind, bestehen, wie wir bezüglich der ersteren beiden bereits in dem vorhergehenden Kapitel gesehen haben, nach ihrem Entstehen, und zwar

Digitized by Google

erstere aus einem den Gummiarten verwandten Stoffe der Pectose, die anderen nach den Untersuchungen von Mangin und meinen eigenen controlirenden Beobachtungen aus einem mit Pectose innig verbundenen, in seltenen Fällen reinen, der Stärke isomeren Kohlenhydrate.

Bei den meisten Parenchymzellen erhält sich dieser chemische Aufbau sämmtlicher Wandschichten während des ganzen Lebens in mehr oder minder grosser Reinheit (Fig. 122, *a*). Bei anderen Parenchymzellen dagegen (verdicktes Holzparenchym, verdickte Parenchymzellen [sogen. Steinzellen] des Markes und der Rinde u. s. w., Fig. 122, *b*), bei allen Holz- und Gefässzellen, den meisten Bastfasern, bei sehr vielen der einseitig verdickten Oberhautzellen, bei den Zellen der Bündelscheide (Schutzscheide, Endodermis), sowie bei Zellen des Peridermas und des Korkes, wird derselbe jedoch in der Regel chemisch mehr oder minder verändert. Diese Umbildung giebt sich zunächst dadurch zu erkennen, dass die verschiedenen Wandschichten weder gegen Jod und Schwefelsäure und die früher besprochenen Jodpräparate mit blauer bis violetter Farbe reagiren, noch auf deren Einwirkung ungefärbt bleiben, sondern sich, mehr oder minder in Grüngelb spielend, hellgelb, goldgelb oder dunkelgelb bis gelbbraun färben.

Fig. 122.

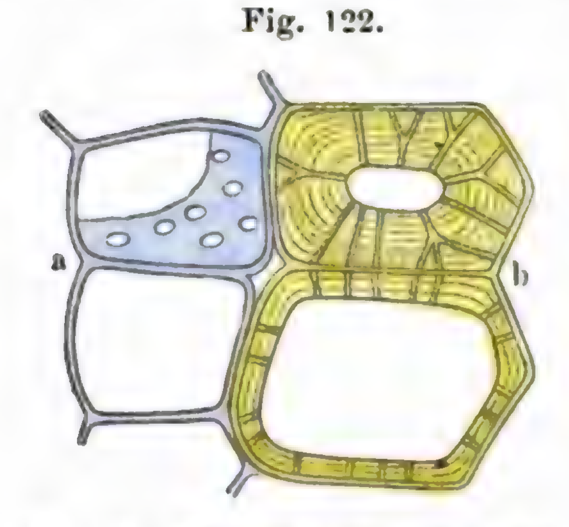


Fig. 122. Querschnitt aus dem Marke von Hoya carnosa nach Behandlung mit Jod und Schwefelsäure. Vergr. 1 : 540.

Man hat diese bei verschiedenen Zellenarten, wie bei verschiedenen Wandschichten durch verschiedene eigenartige Enderzeugnisse sich kundgebende chemische Umbildung mit verschiedenen Namen belegt. Soweit sie hier in Frage kommt (andere Umbildungen sollen für jetzt ausser Betracht bleiben) und die Primärwand sammt der secundären Verdickung trifft, bezeichnet man sie bei den ersteren Zellenarten, bei denen mit derselben die betreffenden Zellwände zugleich eine Umwandlung in ihren physikalischen Eigenschaften erleiden, ihre anfänglich weiche Beschaffenheit verlieren und härter werden, als Verholzung, bei den drei zuletzt genannten, wo sie den betroffenen Wänden eine gewisse Elasticität, sowie einen hohen Grad der Undurchlässigkeit für Wasser, Wasserdämpfe und Gase verleiht, dagegen als Verkorkung. Wo derselbe die Cambialwandung ergreift, da gehen aus derselben diejenigen Wandschichten hervor, von denen die eine die mittlere Platte der sogenannten Mittellamelle der Autoren (Hofmeister, Sachs u. A.), die Mittellamelle (Mittelplatte) in dem von mir gebrauchten Sinne, d. h. die die Gewebezellen verkittende Intercellularsubstanz, die andere das die Oberhaut überziehende zarte Häutchen, die Cuticula, bildet.

Ob gedachte Umbildungen auf der chemischen Veränderung eines Theiles des ursprünglichen Stoffbestandes der Zellwände oder auf der

Digitized by Google

Einlagerung fremder, aus dem lebendigen Zellkörper ausgeschiedenen Verbindungen zwischen den Molecülen des ersteren, oder etwa auf beiden zugleich beruhen, das ist zur Zeit noch nicht mit Sicherheit festgestellt. Doch scheint man sich in neuerer Zeit wieder mehr der älteren Ansicht zuzuneigen, wonach Verholzung und Verkorkung als Folge einer „Incrustation" angesehen wurden, obgleich gewisse Thatsachen, wie die oft zu beobachtende Verminderung des Zellstoffbestandes während beider Vorgänge für die andere Anschauung sprechen. Für uns kann diese Frage auch ausser Betracht bleiben, da wir es hier nur mit dem morphologischen Nachweise der chemischen Umbildung zu thun haben.

1. Verholzte Zellwände.

Die Verholzung, welche sich, wie erwähnt, durch ihr Verhalten gegen die sogenannten Zellstoffreagentien, sowie gegen eine Anzahl anderer Reagentien kundgiebt, beruht auf dem Vorhandensein des sogenannten „Holzstoffes" (Lignin, Lignose, Xylogen) in den betreffenden Zellstoffwänden beziehentlich Wandschichten. Der „Holzstoff", welcher von manchen Seiten als eine ternäre, von dem Zellstoff sich durch höheren Kohlenstoffgehalt unterscheidende Verbindung betrachtet wurde, löst sich in Kalilauge, in Salpetersäure allein oder in dem aus dieser und chlorsaurem Kali bestehenden Macerationsgemische — besonders nach der Erwärmung — und nach Mangin auch in Eau de Javelle auf. Dass das Verholzungsproduct keine einfache Verbindung bildet, unterliegt jetzt keinem Zweifel mehr. Wenigstens sind in der neueren Zeit aus verholzten Zellwänden einige in der Chemie schon länger bekannte Verbindungen: u. a. Ligninsäure (Lange), Holzgummi (Thomson), namentlich aber das in siedendem Wasser lösliche Glycosid Coniferin und das ein Spaltungserzeugniss des letzteren bildende Vanillin (Singer und Hegler) aufgefunden worden. Diese Entdeckung brachte den Beweis, dass der Holzstoff keine einfache chemische Verbindung, sondern ein Gemisch von verschiedenartigen Stoffen ist, unter denen auch die beiden genannten und vielleicht einige andere Aldehyde eine, wenn auch nicht allgemeine, so doch weite Verbreitung besitzen, giebt aber immerhin noch keinen sicheren Hinweis darüber, in welcher Weise gedachte Stoffe bei dem Vorgange im Ganzen betheiligt sind.

Der Verholzungsprocess verändert, so weit unsere gegenwärtigen Erfahrungen reichen, den ursprünglichen chemischen Bestand der Wandschichten niemals so weit, dass sich der Zellstoff sowie das Vorhandensein — wenigstens noch geringer Mengen — von Pectose, nach entsprechender chemischer Behandlung, u. a. durch Behandlung mit dem Macerationsgemische, durch 24stündiges Einlegen von Schnitten in Salzsäure-Alkohol (1 Thl. Salzsäure und 4 bis 5 Thle. Alkohol), nicht in allen Theilen der verholzten Zellwände noch nachweisen liesse.

Digitized by Google

Zum Nachweis der Verholzung, zu dem aus frischem Material (nicht aus Alkoholmaterial) genommene Schnitte verwendet werden sollten, dienen einerseits das erwähnte Verhalten gegen Jod und Schwefelsäure und die zusammengesetzten Jodpräparate (Chlorzinkjodlösung, Chlorcalciumjodlösung, Jodphosphorsäure), andererseits die Farbenreactionen, namentlich gegen Lösungen von schwefelsaurem Anilin (tiefgelb), Phloroglucin und Schwefel- oder Salzsäure, wobei man, ebenso wie bei den folgenden, die Schnitte am besten in einem Uhrglase oder unter Deckglas einige Zeit mit dem Reagenz in Berührung lässt und dann auf dem Objectträger die Säure zugiebt (mehr oder weniger rein carminroth bis fleischrosenroth). Indol, mit verdünnter Schwefelsäure angewendet, (kirschroth), Thallinsulfat, von dem man am zweckmässigsten beim Gebrauch einige Körnchen in wässerigem Alkohol löst, in vorher mit Alkohol behandelten Schnitten (gelb bis dunkel orangegelb), Toluilendiamin in concentrirter, wässeriger, mit etwas Salzsäure versetzter Lösung (haltbar dunkel orangefarben, so dass die Präparate nach Abtrocknen mit Fliesspapier in Glycerin, Glyceringelatine oder Glyceringummi aufbewahrt werden können). Phenol in concentrirter, wässeriger, mit so viel Kalichlorat, als sich darin löst, versetzter Lösung oder Thymol in 20proc. alkoholischer, bis zum Ausfallen des Thymols mit destillirtem Wasser und Kalichlorat im Ueberschuss versetzter, nach einigen Stunden filtrirter Lösung und Salzsäure (grün bis blau), sowie gegen verschiedene Färbeflüssigkeiten, von denen z. B. Hämatoxylin und das nach meinen Erfahrungen sich auch in rauchbraunem Glase zersetzende, und daher beim Gebrauch durch Lösung einer Spur desselben in Wasser frisch zu bereitende Rutheniumroth, verholzte Wandschichten ungefärbt lassen, während denselben einerseits Fuchsin, Gentiana, Methylviolett, Jod-Methyl-Malachit- und Säuregrün, Bismarck- und Säurebraun u. s. w. die ihren Lösungen entsprechenden, andererseits die auch zum Nachweise der Pectose anwendbaren Farbstoffe von den in unverholzten Zellwänden hervorgerufenen verschiedene (Methylenblau z. B. grünblaue, Safranin rosafarbene) Farbentöne ertheilen.

Die Zellen verschiedenen Alters, wie die verschiedenen Wandschichten verhalten sich während ihrer Ausbildung insofern verschieden, als die Verholzung, wo sie überhaupt eintritt, bei letzteren von aussen nach innen fortschreitet, während bei ersteren nach dem Alter, d. h. sowohl nach der Entfernung von dem Sprossgipfel als von dem Cambium das bei der Verholzung zunächst allein oder doch vorwiegend betheiligte Coniferin nach Hegler allmälig zum Theil in Vanillin umgewandelt wird und erst in einem gewissen Alter in seinem Gehalte constant bleibt.

Die secundären Verdickungsschichten nehmen in Folge der geschilderten Verhältnisse, wie sich dies namentlich im Spätsommer an frischen Schnitten durch Cambium und junges Holz unserer Nadelhölzer beobachten lässt, während ihrer Ausbildung von innen nach aussen in ver-

Digitized by Google

Fig. 123.

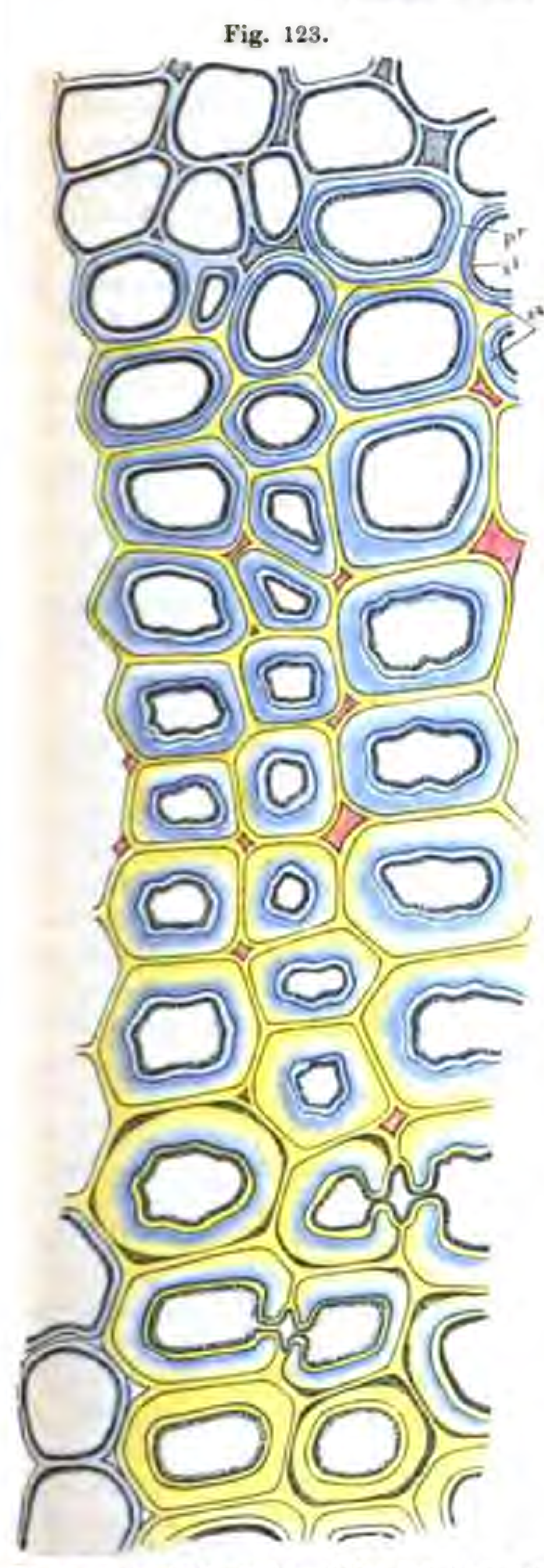


Fig. 123. Querschnitt aus dem Holze von Pinus silvestris nach Behandlung mit Jod und Schwefelsäure. Vergr. 1 : 500.

schiedenen Theilen eine verschiedene Färbung an. Diese geht bei **Jod und Schwefelsäure** vom Blauen ins Blaugrüne, Grüne, Gelbgrüne und Gelbe (Fig. 123), bei **Chlorzinkjodlösung** vom Blauvioletten ins Rothviolette, Weinrothe, Rothgelbe und Gelbe, bei **schwefelsaurem Anilin** vom Farblosen in immer tieferes Gelb, bei **Phloroglucin** vom Farblosen in Blassgelbröthlich, Fleischröthlich, Blassrosa, dunkler Rosa in Carminroth über, nimmt bei den Färbeflüssigkeiten eine entsprechende Abstufung des Farbentones, und zwar bei **Hämatoxylin- und Rutheniumrothlösung** einen weniger tief, bei **Fuchsin, Methylviolett, Gentiana,** den verschiedenen Grün u. s. w. einen tiefer werdenden Ton an, und liefert somit den Nachweis für den stufenweisen Fortschritt der Verholzung. Am stärksten verholzt erscheinen nach der völligen Ausbildung stets die Primärwände, indem sie unter dem Einflusse der Reagentien und Färbeflüssigkeiten den tiefsten Farbenton erkennen lassen.

Die Zellen verschiedenen Alters ergeben ebenfalls ihren Gehalt an Coniferin beziehentlich Vanillin anzeigende, verschiedene Färbungen, zu denen vorzugsweise einerseits **Phenol- und Thymol-Salzsäure**, welche nur mit Coniferin, andererseits **Thallinsulfat**, welches nur mit

Vanillin reagirt, anzuwenden sind. Jüngere, dem Sprossgipfel oder dem Cambium näher gelegene verholzte Zellwände geben demgemäss mit ersterem eine noch verhältnissmässig dunkle, weiter entferntere eine schwächere Blaugrün- oder Blaufärbung, während das letztere seine Farbentöne unter denselben Umständen in umgekehrter Reihenfolge zeigt. Verwendet man ein Gemisch von Thallin und Phenol oder Thallin und Thymol (0,5 g Thallinsulfat, 1,0 g Thymol, 2 ccm Wasser, 26,5 ccm Alkohol, 0,5 g Kaliumchlorat, beim Gebrauch mit 1 ccm Salzsäure von 1,124 spec. Gew. vermischt, Hegler), so deuten die dadurch erzeugten grünen Farbentöne durch ihre Hinneigung zu Blau oder Gelb auf das Mengenverhältniss der beiden bei dem Verholzungsprocess betheiligten Substanzen hin, d. h. je mehr der Farbenton zu Blaugrün neigt, desto mehr Coniferin, je mehr derselbe zu Gelbgrün übergeht, desto mehr Vanillin ist in den betreffenden Zellwänden vorhanden (Fig. XIV, Taf. 2).

Ausser den betrachteten Erscheinungen zeigen Zellen gleicher Art mannigfache Abänderungen des Verholzungsvorganges, indem demselben entweder die ganze Wand oder nur bestimmte Schichten derselben anheimfallen. In manchen Fällen ergreift derselbe neben der Primärwand nur die äussere Schicht, oder einige der äusseren Schichten der secundären Verdickung, während die inneren nebst der Innenwand unverholzt bleiben (Fig. 124), in anderen werden die dichteren Schichtenblätter in höherem Grade von der Verholzung ergriffen, als die unter Umständen auch unverholzt bleibenden weicheren, während die Innenwand bald der Verholzung anheimfällt, bald derselben nicht unterliegt, wie z. B. bei den ausserhalb der Markkrone stehenden (diejenigen in der Markkrone verholzen nur in der Primärwand) Holzfasern von Viscum album. Höchst belehrende Bilder über diese Verhältnisse gewähren namentlich Gegenfärbungen — bisweilen auch Doppelfärbungen — mittelst Thallinsulfat und Rutheniumroth. Diese Färbungen in Verbindung mit der durch Phenol-Salzsäure und Thymol-Thallin, welche eines weiteren Verfolges werth erscheinen, dürften überhaupt im Stande sein, mancherlei Aufschlüsse über die Rolle zu gewähren, welche die bei der Verholzung hauptsächlich betheiligten Substanzen, d. h. das Coniferin und Vanillin, bei diesem Vorgange spielen, namentlich auch darüber, inwieweit das Vorhandensein oder das Ueberwiegen des einen oder des anderen die Reaction auf Pectinstoffe beeinflusst. Die Innenwand, welche sich in der Regel auch schon durch ihr optisches Verhalten von den älteren unterscheidet, ist häufig nicht verholzt und nimmt nach der Behandlung mit den mehrfach erwähnten Reagentien, sowie unter Hämatoxylinlösung die

Fig. 124.

Fig. 124. Querschnitt aus dem Bastbündel von Laburnum vulgare nach Behandlung mit Jod und Schwefelsäure. *p* Primärwand, s^1 äussere, s^2 innere secundäre Verdickung, *i* Innenwand. Vergr. 1 : 800.

Digitized by Google

dem Zellstoff charakteristische Färbung an, die allerdings oft bei der Chlorzinkjodlösung erst nach einigen oder mehreren Stunden hervortritt. In anderen Fällen besteht indessen nur noch ein kleinerer oder grösserer Theil ihres Bestandes aus Zellstoff und es tritt die Cellulosereaction nur unvollkommen oder gar nicht auf; ja es kommt sogar hier und da (z. B. bei den stark verdickten Holzfasern von Quercus, bei denen bald die Primärwand und Innenschicht, bald erstere allein verholzt, bald die ganze Zellwand unverholzt bleibt) vor, dass diese Wandschicht verholzt erscheint, während die secundären Verdickungsschichten Zellstoffreaction beobachten lassen (Fig. 125); in anderen Fällen trifft man dieselbe bald unverholzt, wie bei den jüngeren, bald verholzt, wie bei den älteren Holzfasern von Viscum album.

Fig. 125.

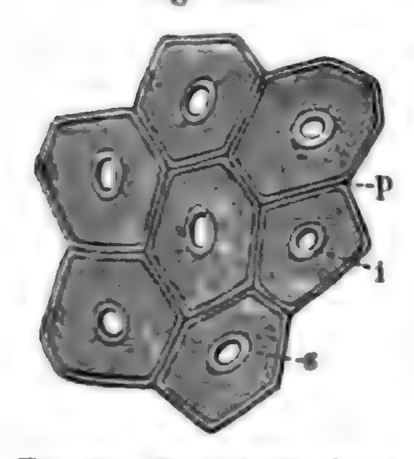


Fig. 125. Querschnitt durch die stark verdickten Holzfasern von Quercus pedunculata nach der Behandlung mit Jod und Schwefelsäure. *p* Primärwand, *s* secundäre Verdickung, *i* Innenwand. Vergr. 1 : 800.

Um sich über den Grad der Verholzung und die Wandtheile, welche von derselben betroffen wurden, genaue Ansichten zu verschaffen, sind äusserst feine Schnitte (am besten Querschnitte) erforderlich, weil man sich sonst leicht täuschen kann. Ebenso empfiehlt sich, neben den hier in Betracht kommenden, oben genannten Färbungsmitteln, von den sogenannten Zellstoffreagentien, vorzugsweise die zusammengesetzten Jodpräparate anzuwenden, weil diese, wenn auch langsamer wirkend, als Jod und Schwefelsäure, doch bezeichnendere Ergebnisse gewähren.

Die Schliesswände der einfachen und behöften Poren verholzen nicht, wie dies ihr Verhalten gegen die gedachten Jodpräparate und Jod

Fig. 126. Fig. 127.

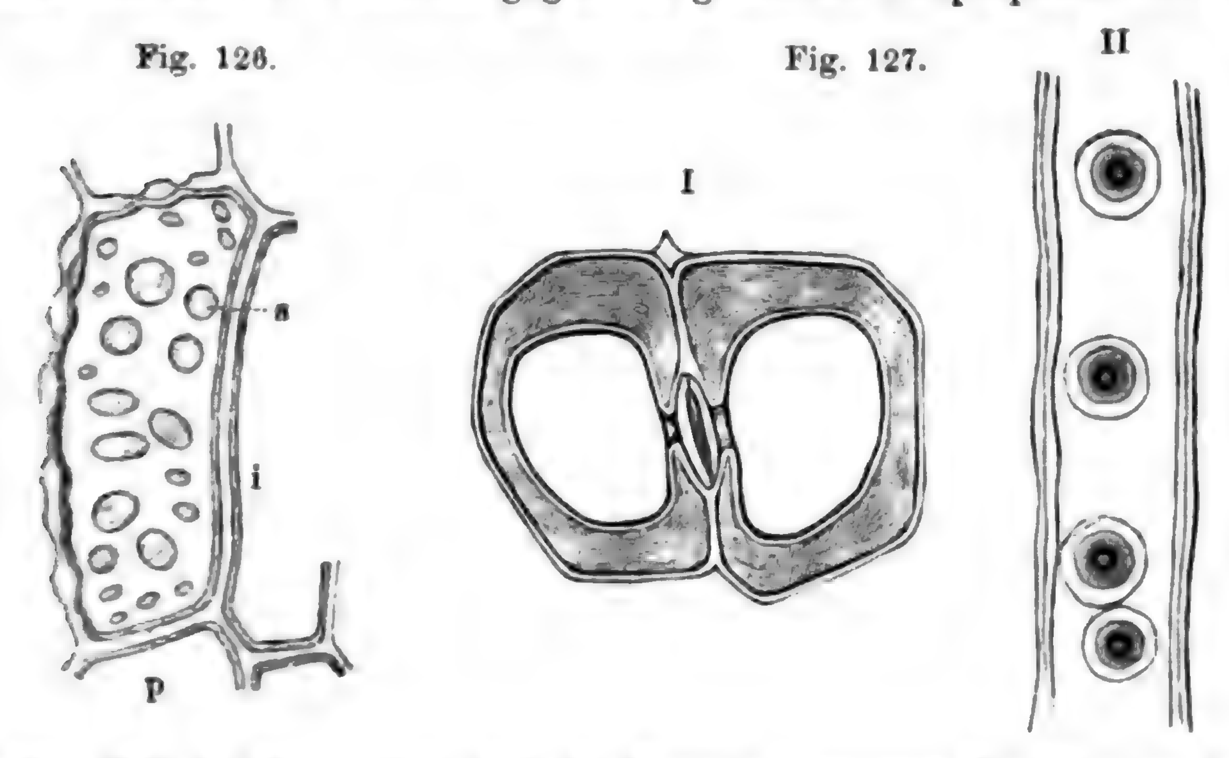


Fig. 126. Theil eines Querschnittes durch das Parenchym eines jungen Blattstieles von Cycas revoluta nach längerer Einwirkung von Jod und Schwefelsäure. *p* Primärwand, *i* Innenwand, *s* Porenschliesswand. Vergr. 1 : 370. — Fig. 127. I zwei Holzfasern von Pinus silvestris im Quer-, II eine solche im Längsschnitt, mit Hämatoxylin gefärbt. Vergr. I 1 : 400, II 1 : 250.

Digitized by Google

und Schwefelsäure, sowie gegen verschiedene Färbeflüssigkeiten beweist. Die beiden erstgenannten Reagentien ertheilen den Schliesswänden der einfachen wie behöften Poren eine violette oder blaue Färbung (Fig. 126, a. v. S.). Durch Hämatoxylinlösung, welche nur einige Minuten zu wirken braucht, wird an den einfachen Poren auf dem Längsschnitte die ganze Schliesswand, an den behöften der Randtheil heller violett, das Polster tiefer violett (Fig. 127, II, a. v. S.), auf dem Querschnitt nur das letztere deutlich erkennbar in dem letzten Ton (Fig. 127, I [1]) gefärbt, während die übrigen Zellwandtheile ungefärbt bleiben. Rutheniumroth wirkt in ähnlicher Weise, indem es auf dem Längsschnitt dem Randtheil eine hellere, dem Polster eine dunklere carminrothe Färbung ertheilt. Für den Querschnitt gewährt dasselbe dem Hämatoxylin gegenüber noch den Vortheil, dass es bei manchen Pflanzen (Nerium Oleander, Pinus silvestris) schon an nicht mit Macerationsmitteln vorbehandelten Präparaten den unmittelbaren Zusammenhang des feinen Randtheiles der Schliesswand mit der Cambialwand deutlicher klarzulegen in den Stand setzt. Man hat in diesem Verhalten ein einerseits gutes Mittel, um das Vorhandensein der Schliesswand auch unter sonst der Beobachtung nicht günstigen Umständen, z. B. in nicht ganz dünnen Querschnitten, nachzuweisen, während sich auf Längsschnitten dieselbe, namentlich aber das Polster, scharf darstellen, sowie deren Abhandensein nachweisen lässt. Andererseits zeigt dasselbe den Bestand der ganzen Schliesswand aus mit Pectinstoffen vereinigtem Zellstoff an, wofür auch das Verhalten gegen andere Färbeflüssigkeiten spricht. Durch Methylen- und Nachtblau werden die Schliesswandtheile hell indigoblau, die übrigen Theile der Zellwände grünlichblau, durch Methylviolett und Naphthylenblau erstere und namentlich das Polster röthlichviolett, letztere blauviolett gefärbt. Neutralroth färbt die Wände carminroth, die Schliesswand und das Polster gelborange, Safranin jene rosa, diese rothorange. Bei Anwendung der Holzstoffreagentien bleibt die Reaction auf Verholzung aus, wie man sich z. B. durch Behandlung mit Phloroglucin, Thallinsulfat u. s. w. an genügend dünnen, den Porencanal bezüglich den Porenhof von beiden Seiten blosslegenden Quer-, sowie an Längsschnitten überzeugen kann. Sind erstere nicht ausreichend dünn, so dass die obere oder untere Wandung verblieb, dann gewinnt auch die Schliesswand vermöge deren Färbung ein röthliches, beziehentlich gelbes Aussehen. Auf dünnen Längsschnitten erscheint letztere und an Hofporen besonders deutlich das Polster der Schliesswand als hellere Scheibe, welche innerhalb des gefärbten Hofes, namentlich aber zwischen den beiden Porencanälen als vollkommen farblos erkannt wird (Fig. 128). Mittelst Thallinsulfat und Rutheniumroth erhält man auch schöne Doppelfärbung, bei der

[1]) Ich habe auf diese Weise die Schliesswand der behöften Poren schon seit etwa 10 Jahren meinen Zuhörern demonstrirt, sah aber von einer Veröffentlichung ab, da diese neue, durch besondere Umstände verzögerte Auflage schon in Vorbereitung war.

Digitized by Google

die ganzen Zellwände der Holzfasern heller und dunkler gelb, die Schliesswände aber hell carminroth gefärbt erscheinen. Man kann dabei so verfahren, dass man die in dem ersteren Mittel gefärbten Schnitte aus diesem unmittelbar oder nach raschem Abwaschen in das letztere bringt. Möglicherweise halten sich auch derart gefärbte Präparate in Glyceringummi.

Fig. 128.

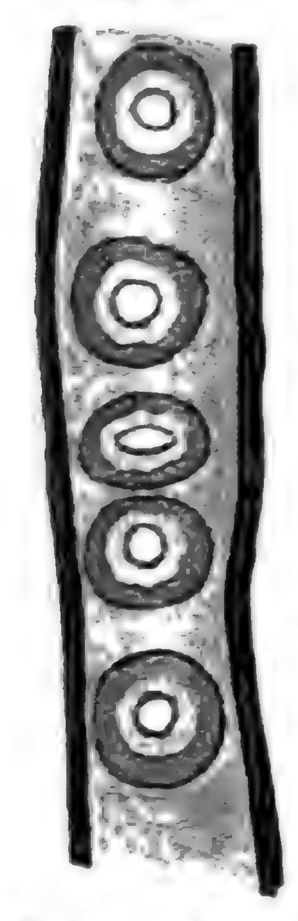


Fig. 128. Theil einer Holzfaser von Pinus silvestris nach der Behandlung mit Phloroglucin und Schwefelsäure. Vergr. 1 : 400.

Die Einwirkung der Zellwände auf das polarisirte Licht wird durch die Verholzung nicht beeinflusst. Verholzte Zellwände zeigen auf dem Gypsgrunde in den Quadranten + 45° und — 45° ganz die gleichen Farben, wie nicht verholzte.

Um das Vorhandenbleiben des Zellstoffes beziehentlich der Pectose in den verholzten Zellwänden nachzuweisen, unterwirft man zarte Schnitte einer vorbereitenden chemischen Behandlung. Man kocht dieselben entweder in reiner Salpetersäure, in Salpetersäure und chlorsaurem Kali, oder in Kalilauge so lange, bis die anfangs gelbe Farbe verschwindet, oder man legt sie längere Zeit in den S. 197 erwähnten Salzsäure-Alkohol oder Eau de Javelle. Hierauf süsst man die Präparate sorgfältig mit Wasser, wenn nothwendig, mit Weingeist aus, und verwendet sie dann erst zur Beobachtung der Reactionen. Jod und Schwefelsäure, die zusammengesetzten Jodpräparate sowie Hämatoxylin, Rutheniumroth und die früher erwähnten Färbungsmittel werden nach dieser Behandlung in allen Schichten der Zellwand die Reactionen des Zellstoffes beziehentlich der Pectose in mehr oder minder vollkommener Reinheit wahrnehmen lassen.

Zur Entfernung des Coniferins aus den Zellwänden werden die Schnitte längere Zeit, 12 bis 18 Stunden, in siedendem Wasser ausgelaugt. Nach diesem Verfahren gelingt die dasselbe kennzeichnende Phenol- und Thymolreaction nicht mehr. Dagegen färben sich die Schnitte mit der Lösung von Thallinsulfat jetzt orange, während der wässerige Auszug nach Zusatz von einem oder dem anderen der beiden ersteren Mittel durch seine grünblaue Färbung das Vorhandensein des aus den Zellwänden herausgelösten Coniferins in demselben erkennen lässt.

2. Verkorkte Zellwände.

Die **Verkorkung** tritt meist nur in den dem Einflusse der Atmosphäre ausgesetzten Schichten des Pflanzengewebes, in der Oberhaut und dem Korkgewebe, seltener in tiefer liegenden, wie in der Bündelscheide (Schutzscheide, Endodermis) auf. In der ersteren findet sie sich meist in

Digitized by Google

den äusseren Partien der sogenannten Cuticularschichten, welche unter der eigentlichen Cuticula liegen, doch auch tiefer. Sie schreitet hier wohl nie bis zum vollständigen Verschwinden des gesammten Zellstoffbestandes vor, da man nach der Behandlung geeigneter Mittel, sei es durch länger andauernde Maceration bei gewöhnlicher Temperatur, sei es unter Zuhülfenahme kürzere Zeit andauernder Erwärmung, immer Zellstoffreaction erhält. Das eigentliche Korkgewebe verhält sich etwas anders. Jüngere Korkzellen lassen nach der Behandlung mit letzteren nicht immer Zellstoff in ihren Wandungen nachweisen. In den älteren Korkschichten ist dagegen in den verkorkten Wandschichten der Zellstoff oft kaum nachzuweisen, und soll die violette bis röthliche Färbung, welche man in denselben nach Behandlung mit Kalilauge durch Chlorzinkjodlösung erhält, nach Gilson auf der entstandenen Verbindung des Kalis mit Phellonsäure beruhen, welcher durch das letztere Reagenz eine gleiche, jedoch durch Ausziehen der mit Kali behandelten Schnitte mittelst kochenden Alkohols vor dessen Anwendung ausbleibende Färbung ertheilt wird.

Die Verkorkung wird durch das Vorhandensein einer eigenartigen, fettartigen, als Korkstoff (Suberin) bezeichneten Substanz bedingt. Diese, in ihrer chemischen Zusammensetzung noch nicht erforscht, nach neueren Untersuchungen des Korkes der Korkeiche aber vielleicht ein Gemisch aus den Glycerinestern der Stearin- und Phellonsäure, beziehentlich ein Gemisch aus zusammengesetzten Aethern, Condensations- oder Polymerisationsproducten der genannten, wie der Suberin- und Phloionsäure bildend, ist durch folgendes mikrochemische Verhalten gekennzeichnet. Dieselbe wird durch concentrirte Kalilauge schon bei gewöhnlicher Temperatur, beim Erwärmen jedoch tiefer gelb gefärbt, während die Wände eine körnige Structur annehmen und beim Kochen häufig grössere, gelbliche Tropfen austreten lassen, ist aber in siedender, 3 proc. alkoholischer Kalilauge löslich. Dem Schulz'schen Macerationsgemische widersteht sie lange und wandelt sich erst nach andauerndem Kochen darin in eine in ölartigen Tropfen zusammenfliessende, in heissem Alkohol, Aether, Benzol, Chloroform und verdünnter Kalilauge löslichen Verbindung um, welche man als Cerinsäure bezeichnet. Concentrirte Schwefel- und Chromsäure lösen den Korkstoff nicht, oder doch viel schwieriger als den Holzstoff, und erst nach langer Einwirkung. Verkorkte Zellwände oder Wandschichten lassen an dünnen Schnitten Jod und Schwefelsäure, wie den zusammengesetzten Jodlösungen gegenüber etwa die gleichen Färbungen beobachten, wie die verholzten, dagegen nehmen sie unter der Einwirkung der oben erwähnten, zum Nachweise der Verholzung gebrauchten Mittel keine Färbung an. So lassen sich durch neben einander hergehende Anwendung beider an verschiedenen Schnitten, die bisweilen in denselben Wänden auftretenden verkorkten, verholzten und aus reinem Zellstoff bestehenden Wandschichten leicht von einander unterscheiden. Gegen Färbeflüssigkeiten ist das Verhalten in-

Digitized by Google

sofern verschieden, als die fraglichen Zellwände und Zellwandschichten dieselben bald — und zwar in geringerer Menge, als die verholzten — aufnehmen, und zwar ähnlich, aber nur schwach gefärbt erscheinen, bald bei stärkerer Färbung einen von den verholzten Wänden verschiedenen Ton annehmen, bald die Aufnahme des Farbstoffes versagen und farblos bleiben. Wir werden dem unterscheidenden Verhalten verkorkter Zellwände und Wandschichten gegenüber den unverholzten und verholzten an anderen Stellen näher treten und wollen hier nur zwei für die Verkorkung kennzeichnende Färbungen erwähnen. Bringt man Schnitte durch verkorkte Gewebe in eine frisch bereitete, möglichst gesättigte

Fig. 129.

Fig. 129. Korkzellen. *A* von Solanum tuberosum. *B* von Betula alba in polarisirtem Lichte auf Gypsgrund Roth I. Ordnung.

alkoholische Chlorophylllösung, und lässt diese im Dunkeln $^1/_4$ Stunde oder länger einwirken, so erscheinen verkorkte, in Wasser beobachtete Zellwände und Wandschichten satt grün gefärbt. Eine 50proc. alkoholische Lösung von Alkannin, in der man die betreffenden Schnitte einige Stunden oder auch länger verweilen lässt, färbt die verkorkten Membranen, wenn auch gerade nicht tief, doch deutlich erkennbar roth.

Auf das Verhalten im polarisirten Lichte äussert sich die Verkorkung in folgender Weise. Auf dem Querschnitte der von ihr ergriffenen Wände treten auf dem Gypsgrunde in den Quadranten unter + 45° Additionsfarben, unter — 45° Subtractionsfarben auf (Fig. 129).

Digitized by Google

Daraus geht hervor, dass die grössere der beiden zur Wirkung gelangenden Elasticitätsachsen radial, die kleinere aber tangential gerichtet ist (Fig. 130, *Q*, oben). Der Längsschnitt zeigt seinerseits das gleiche Verhalten, so dass in dem zur Geltung kommenden Schnitte des Elasti-

Fig. 130.

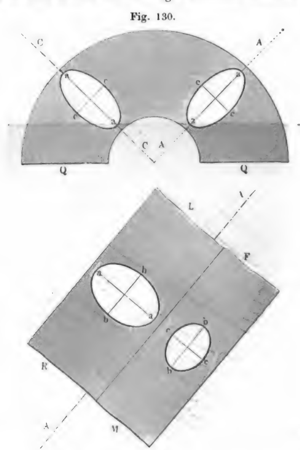


Fig. 130. Die in Querschnitt (*Q*), Längsschnitt (*L*) und Fläche des Korkes zur Geltung kommenden Ellipsoiddurchschnitte.

citätsellipsoides wiederum die grössere der zur Wirkung kommenden Elasticitätsachsen radial, die kleinere aber in mit der Längsachsenrichtung dahingehend erscheint (Fig. 130, *L*, unten). Wo die Fläche auf dem Querschnitt stehen geblieben, erscheint dieselbe in der Richtung + 45° blau, in der — 45° gelb. Aus diesem Verhalten der beiden Schnitte aber ergiebt sich, dass die grösste Elasticitätsachse radial, die kleinste tangential verläuft, während die mittlere in der dritten auf den beiden vorhergehenden senkrechten Richtungen dahingeht.

Digitized by Google

3. Umbildung der Cambialwand.

Intercellularsubstanz und Cuticula.

Intercellularsubstanz [1]).

Ueber das Wesen dieser aus der Umbildung der Cambialwand hervorgegangenen Wandschicht, deren Entstehung wir in dem dritten Abschnitte zu betrachten haben werden, wurden im Laufe der Zeit verschiedene Ansichten geäussert. Die ältere Ansicht, die gegenwärtig wohl kaum mehr einen Anhänger finden dürfte, nahm an, es sei dieselbe eine zur Verkittung der Zellen bereitete, zwischen ihren Wänden abgeschiedene Aussonderung der Zelle selbst. Wigand, dem sich später Hofmeister, Sachs, Sanio u. A. anschlossen, betrachten sie — und zwar die letzteren unter dem Namen „Mittellamelle“ — als aus den stark verholzten und mit einander verschmolzenen primären Zellwänden hervorgegangen, Schacht lässt dieselbe aus den untergegangenen und verflüssigten Zellwänden der Cambium-Mutterzellen entstehen, während ich schon in den 60er Jahren darin ein Umbildungsproduct der Cambialwand, d. h. der Wand der in den Cambium-Mutterzellen entstandenen cambialen Tochterzellen erkannte.

Die ältere Ansicht entbehrt aller genügenden Stützen und hat ausserdem kein einziges Analogon in dem gesammten Zellenleben für sich. Aber auch für die beiden neueren Ansichten sind uns deren Begründer einen vollständigen Beweis schuldig geblieben. Schacht gebührt indessen Wigand gegenüber das Verdienst, nachgewiesen zu haben, dass Intercellularsubstanz — und Cuticula — von der — Primärwand und Verdickung umfassenden — Zellwand und ihren Umwandlungsproducten wirklich verschiedene Dinge sind und ich selbst konnte in Bezug auf die fertigen Zustände Schacht's Beobachtungen im Allgemeinen bestätigen.

Optisches Verhalten. — Um sich über das optische Verhalten der Intercellularsubstanz zu unterrichten, bedarf es sehr zarter Querschnitte der betreffenden Pflanzentheile. Am besten geeignet sind Schnitte von Laub- und Nadelhölzern. Ein zarter Querschnitt aus dem Stamm- und Wurzelholze der Kiefer, Fichte, Tanne oder Lärche zeigt, wenn er vollkommen senkrecht zur Längsachse der Zellen geführt ist, und man entsprechend starke und klare Vergrösserungen anwendet, folgende Verhältnisse: Die secundären Verdickungschichten werden von einem sich

---

[1]) Ich halte es für am einfachsten, diese Bezeichnung für die chemisch veränderte Cambialwand innerhalb der Gewebe beizubehalten, da der Ausdruck „Mittellamelle“ noch immer in verschiedenem Sinne gebraucht wird und leicht Missverständnisse veranlassen kann, wenn man nicht besonders hinzufügt, ob er in dem Sinne von mir oder von Hofmeister und Sachs verstanden werden soll.

Digitized by Google

scharf abzeichnenden, nach beiden Seiten hin fein begrenzten, polygonalen Netzwerke (Mittellamelle, Hofmeister, Sachs u. A.) durchsetzt, welches aus den primären Zellwänden besteht und schon bei 200- bis 250fachen Vergrösserungen auf das Bestimmteste erkannt wird. Schon bei diesen Vergrösserungen, noch besser aber bei stärkeren erkennt man an den genannten Objecten, da, wo drei oder vier Zellen zusammenstossen, drei- bis mehrseitige, nicht wieder von einer Linie durchsetzte Zwickel einer Substanz von schwächerem Lichtbrechungsvermögen (Fig. 131, links), welche man aber nicht durch das ganze Netzwerk hindurch verfolgen kann, so dass dieses als einfach erscheint. In anderen Fällen dagegen, und zwar bei Objecten derselben Art, so z. B. bei manchen Querschnitten durch den Bast- und Holzkörper der Laub- und Nadelhölzer, die Bündel bastfaserartiger Zellen der Kiefernadeln, das Markparenchym der Waldrebe u. s. w., gewinnt man ganz abweichende Ansichten der Structur. Hier wird das Netzwerk der primären Zellwände, und zwar genau in der Mitte von einem mit den oben beschriebenen Zwickeln in Verbindung stehenden, nicht aber diese Zwickel durchschneidenden (Wiegand), äusserst zarten, oft in Form einer einfachen Linie auftretenden Maschenwerk durchsetzt, welches sich durch abweichende Lichtbrechung kenntlich macht (Fig. 131, rechts). Es wird somit durch dieses Verhalten, welches indessen nur an sehr dünnen, genau senkrecht zur Längsachse der Zellen geführten Querschnitten erkennbar, an dickeren Schnitten aber leicht zu übersehen ist, sofort und auf das Bestimmteste die Zusammensetzung der „Mittellamelle“ aus zwei äusseren, gleich stark lichtbrechenden und einer mittleren, abweichend brechenden Platten nachgewiesen. Ausserdem leitet dasselbe zu dem Schlusse, dass auch

Fig. 131.

i
p
s

Fig. 131. Querschnitt durch das Holz von Pinus canariensis. Die Figur ist insofern halb schematisch, als darin die Bilder verschiedener Präparate in Bezug auf das optische Verhalten der Intercellularsubstanz combinirt sind. Vergr. 1 : 500.

Digitized by Google

da, wo diese Structur unter den gewöhnlichen Beleuchtungsverhältnissen nicht wahrnehmbar ist, dieselbe doch vorhanden sein dürfte und dass es bei dem thatsächlich nur geringen Unterschiede in dem Lichtbrechungsvermögen beider Elemente bloss an der kleineren Dickenausmessung der mittleren Platte liege, wenn das Mikroskop, dessen Unterscheidungsvermögen bekanntlich an bestimmte, nicht überschreitbare Grenzen in dem Ausmaasse der Structur gebunden ist, dieselbe nicht nachweist.

Dass dieser Schluss in der That berechtigt ist, dass die „Mittellamelle" der oben genannten Autoren auch in den Fällen, wo sie sich bei gewöhnlicher Beobachtungsweise als scheinbar einfach darstellt, die beschriebene Zusammensetzung besitzt, tritt auf das Klarste in die Erscheinung, wenn man hinreichend dünne Querschnitte unter dem Einflusse polarisirten Lichtes der Beobachtung unterwirft. Schon 1861 habe ich auf der Naturforscher-Versammlung in Speier auf diese Beobachtungsweise hingewiesen und seitdem mehrfach die Resultate derselben als Beweismittel für meine Auffassung vorgelegt (Die Intercellularsubstanz und deren Entstehung, S. 21, Taf. I, Fig. 29; Das Mikroskop etc. II. Bd., S. 323, Fig. 155).

Orientirt man einen dünnen Querschnitt eines Laub- oder Nadelholzes, überhaupt eines Gewebes mit deutlich ausgesprochener „Mittellamelle" bei gekreuzten Nicols, also bei verdunkeltem Sehfelde derart, dass, je nach der Zellform, sämmtliche oder einzelne Theile des Netzwerkes unter Winkeln von 45° oder nahezu 45° die Polarisationsebenen schneiden, so gewinnt man das in der Fig. 132, a. f. S., dargestellte Bild. Man sieht hierin überall die bei gewöhnlicher Beleuchtung stark lichtbrechenden primären Zellhüllen mit hohem Glanze aufleuchten, dabei aber von einem kaum zu übersehenden, mit den dunklen Intercellularzwickeln in Verbindung stehenden, nicht leuchtenden Netzwerke durchschnitten, welches in seinen Breitenausmessungen bei verschiedenen Objecten in dem Maasse wechselt, als die mittlere Platte der „Mittellamelle", d. h. die Intercellularsubstanz in mehr oder minder beträchtlicher Mächtigkeit entwickelt ist. Dieses Verhalten, welches allerdings an nicht hinreichend dünnen Schnitten verdunkelt oder verdeckt wird und in Folge dessen ganz und gar übersehen werden kann, berechtigt doch wohl unzweifelhaft zu dem Schlusse, dass wir es in der „Mittellamelle" nicht mit einer einfachen, „durch kein optisches Hülfsmittel" zerlegbaren „Membran", sondern mit einem in der oben beschriebenen Weise zusammengesetzten Gebilde zu thun haben. Dass ferner in dem, im polarisirten Lichte nicht leuchtenden, also gar nicht oder doch nur äusserst schwach doppelt brechenden, zartlinigen Maschenwerk nicht etwa die ganze Mittellamelle im Sinne von Nägeli, Hofmeister, Sachs u. A. vorliegt, beweisen auf das Entschiedenste die in Betracht kommenden Abmessungen. Die Gesammtbreite der Stäbe des leuchtenden, das dunkle Maschenwerk in sich aufnehmenden Netzwerkes entspricht hier nämlich vollkommen derjenigen, welche unter gewöhnlicher

Digitized by Google

Beleuchtung der „Mittellamelle“ zukommt, während die dunklen Streifen eine weit geringere Breite besitzen. Ebenso wenig aber wird man an-

Fig. 132.

Fig. 132. Theil eines Querschnittes von Pinus silvestris in polarisirtem Licht. *p* Primärwand, *s* secundäre Verdickung, *i* Innenwand, *is* Intercellularsubstanz. Vergr. 1 : 600.

nehmen können, dass das dunkle Maschenwerk der Ausdruck der „idealen“ nicht existirenden Grenzlinien der verschmolzenen Zellwände (Wiegand), also ein Nebelgebilde sei.

Will man sich noch eingehender von dem optischen Verhalten der Theilstücke der „Mittellamelle“ überzeugen, so bedarf es nur der Anwendung verzögernder Gypsblättchen, um auch hierbei sofort und scharf den Unterschied in der Art der Lichtbrechung zwischen den beiden primären Zellhüllplatten und der Mittelplatte festzustellen. Die ersteren zeigen unter den Bedingungen je nach ihrer Stellung in den Quadranten von + bis — 45° die der Schnittdicke entsprechenden Additions- oder Subtractionsfarben, während die letztere die Farbe des Gesichtsfeldes wiedergiebt.

In allen zu den vorstehenden Beobachtungen verwendbaren Geweben trifft man auch hie und da auf Präparate, in denen an einzelnen Stellen eine Trennung der „Mittellamelle“ in zwei Platten eingetreten und die mittlere Theilplatte ganz oder theilweise verschwunden ist. Hier

Digitized by Google

entspricht die Trennungsspalte ihrer Lage und Ausmessung nach genau dem Verlaufe der entweder schon bei gewöhnlicher Beleuchtung oder bei polarisirtem Lichte beobachteten mittleren Platte (Fig. 133). Dass diese Spaltung in Folge von Spannungen in der Zellwand erfolgt sei, wie von Hofmeister und Sachs mehrfach behauptet wird, erscheint umsomehr zweifelhaft, als damit das Verschwinden der mittleren Theilplatte nicht erklärt werden kann. Dagegen dürften wohl die neuerdings beobachteten Eingriffe gewisser Bacterien, wie des Bacillus Amylobacter und Spaceloma Ampelium die Ursache dieser schon in der Pflanze vor sich gehenden Trennung bilden.

Fig. 133.

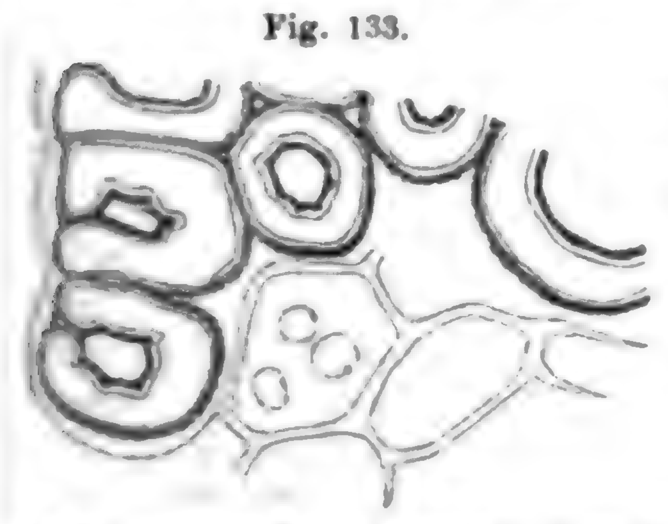


Fig. 133. Querschnitt durch das Holz von Pinus silvestris in der Nähe eines Harzganges. Die Zellen sind durch natürliche Maceration getrennt. Vergr. 1 : 500.

Chemisches Verhalten. — In Bezug auf das chemische Verhalten der umgebildeten Cambialwand sind namentlich zwei Fragen zu erledigen. Erstens: Bildet dieselbe mit den Primärwänden der an einander stossenden Zellen als „Mittellamelle" im Sinne von Hofmeister, Sachs u. A. eine einfache, in den Macerationsmitteln sich lösende, nach der Auflösung der secundären Verdickung durch concentrirte Schwefelsäure erhalten bleibende Wandschicht? Zweitens: Ist sie eine aus einer ursprünglich einfachen Zellstoffwand später vermöge Differenzirung mittelst stärkerer Verholzung hervorgegangene mittlere Platte der „Mittellamelle".

Die erste Frage anlangend, haben wir zunächst an dünnen, mit gehöriger Sorgfalt und Beachtung aller Bedingungen in Bezug auf die bereits in dem Vorausgehenden hervorgehobenen Eigenschaften ausgeführten Querschnitten die Wirkung der die Gewebezellen aus ihrem Verbande lösenden Macerationsmittel und dann der concentrirten Schwefelsäure zu untersuchen.

Behandelt man dünne Querschnitte eines Gewebes — am besten wählt man, da dasselbe sehr bezeichnende Bilder gewährt, das Holz unserer Nadelhölzer oder solcher Laubhölzer, deren Holzfasern keine mehrfache Schichtung besitzen — nach Mangin auf die Dauer von 24 Stunden oder auch länger mittelst Salzsäure-Alkohols (4 Raumtheile Alkohol und 1 Raumtheil Salzsäure), so wird die umgebildete Cambialwand wieder in den löslichen Zustand übergeführt. Wäscht man hierauf die Säure vollständig mit Wasser aus und lässt ein Alkali oder Alkalisalz, z. B. eine 10proc. Ammoniaklösung, einwirken, dann gelingt es leicht, die Zellen der in einem Tropfen Wasser auf dem Objectträger liegenden Schnitte durch einen gelinden Druck von einander zu trennen und es lassen dieselben auf das Deutlichste die drei Wandschichten:

Digitized by Google

Primärwand, secundäre Verdickung und Innenwand erkennen (Fig. 135), während die Intercellularsubstanz in dem Umhüllungsmittel gelöst ist.

Was die Wirkung anlangt, welche die schon länger im Gebrauche befindlichen Macerationsmittel, deren, durch die Entwickelung der Säuredämpfe veranlassten Unannehmlichkeiten bei dem voranstehenden Verfahren vermieden sind, hervorrufen, auf die Hofmeister und Sachs ihre Ansicht gründeten und von denen sie sowohl, wie ihnen nachschreibend einige jüngere Botaniker in den bis zur neuesten Zeit erschienenen Lehrbüchern der Botanik behaupten, dass sie die stark lichtbrechende, nicht quellungsfähige „Mittellamelle" — d. h. die Primärwände benachbarter Zellen sammt der Cambialwand — im Ganzen lösen, so verhalten sich Kalilauge, Chromsäure, Salpetersäure und das Schulz'sche Macerationsgemisch in Bezug auf das Endresultat wesentlich gleich. Wir können uns daher hier im Grossen und Ganzen auf die Ermittelung derjenigen Erscheinungen beschränken, welche durch das letztgenannte Reagenz hervorgerufen werden. Betrachten wir dieselben zuvörderst in ihrem Endresultate, so wird sich zeigen, wie sehr dasselbe in der Wirklichkeit von demjenigen abweicht, welches durch die von Sachs u. A. behauptete Wirkungsweise gefordert wird. Wenn das genannte chemische Mittel in der von jenen beschriebenen Weise wirkte, so müsste ein mittelst desselben behandelter Querschnitt aus einem fertigen Gewebe, z. B. aus dem Holze der Kiefer nach der Lösung der „Mittellamelle", ein Bild gewähren, wie das schematisch in der Fig. 134 gezeichnete. Die isolirten Zellwände könnten dann nur noch aus den die secundäre Verdickung bildenden Theilen bestehen und würden folglich auch nur zwei verschieden lichtbrechende Lamellen, die stärker entwickelte äussere, weniger lichtbrechende, und die innere, den Zellenhohlraum begrenzende, stärker lichtbrechende erkennen lassen. Ganz junge Gewebetheile, in denen die Zellen ihre secundäre Verdickung noch nicht gebildet haben, in denen also die noch sehr dünnen Zellwände offenbar der „Mittellamelle" der „differenzirten" Zellwand entsprechen, müssten unter der gleichen Annahme ganz und gar gelöst werden. Derartige Bilder gewährt aber kein einziges von hinreichend dünnen, die feinere Structur deutlich zeigenden Querschnitten gewonnenes Macerationsproduct. Es bleiben vielmehr in den jungen Geweben die

Fig. 134.

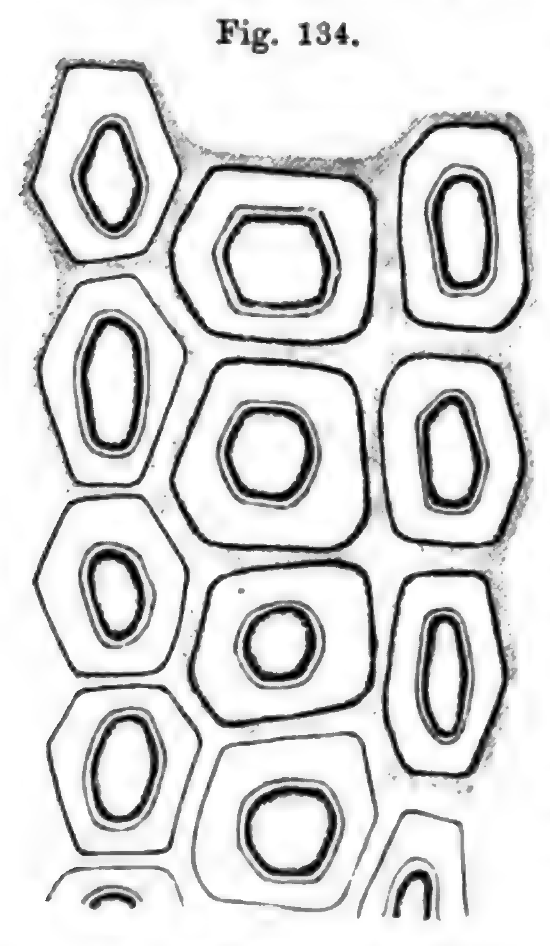


Fig. 134. Der Hofmeister-Sachs'schen Anschauung entsprechende schematische Darstellung des Macerationsproductes eines Querschnittes von Pinus silvestris. Vergr. 1 : 500.

Digitized by Google

Lösung und damit die Trennung der einzelnen Zellen eintritt. Während dieser Vorgänge bleibt, die allmälige Lösung und Wegführung der Verholzungsproducte ausgenommen, das Verhalten der primären Zellwände optisch, und zwar im gewöhnlichen, wie im polarisirten Lichte das gleiche. Nirgends bemerkt man in dieser Hinsicht auch nur die Spur einer Veränderung der Gesammtzellwand, welche auf das Entstehen eines Kunstproductes deutete, dessen Auftreten eine Täuschung über den wahren Sachverhalt veranlassen könnte. Alle die Vorgänge, welche bei der eben besprochenen Beobachtungsweise so zu sagen etwas sprungweise in die Erscheinung treten, lassen sich in lückenloser Aufeinanderfolge beobachten, wenn man recht dünne Querschnitte der Einwirkung von Chromsäure aussetzt. Die Wirkung dieses Reagenzes dürfte aber um so mehr näher zu studiren sein, weil neuere Angaben (Strassburger, Bot. Praktikum) dahin gehen, dass die Chromsäure sämmtliche Zellwandschichten löse, dagegen die Intercellularsubstanz ungelöst zurücklasse. Es wird sich an dünnen Querschnitten durch irgend ein Nadel- oder Laubholz, ebenso durch Parenchymgewebe, u. a. des hornigen Sameneiweisses mit Sicherheit feststellen lassen, dass selbst 10proc. Chromsäure nach einiger Zeit zunächst die umgebildete Cambialwand (Intercellularsubstanz) und erst später die übrigen Wandtheile in Lösung überführt. Die verschiedenen Stufen der Wirkung machen sich darin kenntlich, dass unter Quellung der übrigen gelb gefärbten Wandschichten und scharfem Hervortreten der mehr und mehr aus einander gedrängt werdenden Primärwände das Netzwerk der Cambialwände dunkel gelbbraun gefärbt wird und derenseits, namentlich bei Verwendung eines weiten Lichtkegels, auf das Deutlichste erkannt werden kann. Dann quellen die Zwickel der Intercellularsubstanz stärker und treten als abgerundete Massen hervor, um schliesslich allmälig sammt den sie verbindenden Maschenfäden der Lösung anheimzufallen.

Um die Einwirkung der concentrirten Schwefelsäure auf verdickte Gewebezellen zu verfolgen, welche von Sachs u. A. so beschrieben wird, als ob die innerhalb der „Mittellamelle“ gelegenen Theile der Zellwände gelöst würden, während jene im Ganzen in Form eines zarten Netzwerkes zurückbleiben, eignen sich am besten feine Querschnitte verholzter Gewebe, welche vorher mittelst des Schulz'schen Macerationsgemisches bei gewöhnlicher Zimmertemperatur so lange digerirt wurden, bis das Verholzungsproduct der Zellwände möglichst herausgelöst, die mittlere Theilplatte der „Mittellamelle“ (Intercellularsubstanz) aber noch erhalten geblieben war. Hierbei muss man jedoch, wenn das Präparat gelingen soll, den Zeitpunkt genau zu treffen suchen, in welchem die Einwirkung des lösenden Gemisches zu unterbrechen ist. Lässt man diese zu lange dauern, so wird nicht nur der Holzstoff, sondern auch die Intercellularsubstanz gelöst, und die Zellen fallen aus einander. Hat die Wirkung dagegen zu kurze Zeit gedauert, so ist der Holzstoff nicht vollständig gelöst und es bleiben nach Einwirkung der Schwefelsäure mindestens

Digitized by Google

die primären Zellstoffwände in Verbindung mit der Intercellularsubstanz zurück und quellen auf. Hier können eben nur mit gehöriger Geduld wiederholte Versuche, aber dann auch sicher, zu dem gewünschten Ziele führen. Ferner muss man die Einwirkung der Schwefelsäure wohl zu reguliren suchen. Vor allem hüte man sich, dieselbe zu rasch einwirken zu lassen, weil dann die Zellen heftig angegriffen werden, stark quellen und das Netzwerk der Intercellularsubstanz zersprengen. Am besten gelangt man zum Ziele, wenn man den ausgewaschenen Schnitt in einem Tropfen Wasser und ohne Deckglas unter ein Objectiv mit grosser Focaldistanz bringt, und nun die Schwefelsäure tropfenweise so lange an den Rand des Tropfens giebt, bis man sich überzeugt hat, dass die gewünschte Wirkung erfolgt ist. Will man ein derart erhaltenes Präparat aufbewahren, so muss die Schwefelsäure rein ausgewaschen werden, was am besten dadurch geschieht, dass man das erstere auf dem Objectträger liegend in eine Schale mit reinem Wasser bringt, eine Zeit lang zuwartet und, nachdem man Träger und Präparat zusammen ruhig emporgehoben hat, die über dem letzteren stehenbleibende Flüssigkeit vorsichtig ablaufen lässt. Ist diese Operation vollendet, so trocknet man das Wasser vom Objectträger auf, giebt einen Tropfen einer geeigneten

Fig. 137.

Fig. 137. Querschnitt durch das Holz von Pinus canariensis nach unterbrochener Maceration mit concentrirter Schwefelsäure behandelt. *A* bis *D* die Fortschritte der Wirkung. Bezeichnung wie oben. Vergr. 1 : 500.

Digitized by Google

Aufbewahrungsflüssigkeit, Chlorcalcium, Glycerin, Glyceringelatine, Glyceringummi oder dergleichen auf das Präparat, bedeckt und verschliesst es dann mittelst eines der H., S. 1008 u. f.; G., S. 506 u. f. angegebenen Mittel. Um sich von dem thatsächlichen Substanzbestande des Endproductes der Schwefelsäurewirkung zu überzeugen, muss man die letzteren in ihren einzelnen Stadien verfolgen. An derartigen Präparaten lassen sich, je nach der Schnittdicke (natürlich müssen auch hier die dickeren Stellen noch recht dünn sein) und bei einem allmäligen Zutreten des lösenden Reagenzes von dem Rande des Deckglases her, die verschiedenen Stufen der Wirkung häufig dicht neben einander beobachten und gewähren ein lückenloses Bild der letzteren (Fig. 137, A bis D). Nach sorgfältiger Ausführung des beschriebenen Verfahrens wird sich zeigen, dass bei Anwendung des genannten Reagenzes, und zwar auf unverholzte Gewebe ohne weitere Vorbereitung, auf verholzte Gewebe nach vorhergegangener geeigneter chemischer Behandlung, ein zartes Netzwerk ungelöst zurückbleibt, während die übrige Substanzmasse der Gewebe der Lösung verfällt (Fig. 137, bei D). Vergleicht man das Ausmaass des verbliebenen feinen Netzwerkes mit demjenigen der an frischen Schnitten beobachteten oder gar der durch den Einfluss der Schwefelsäure etwas gequollenen „Mittellamelle", so muss es sofort einleuchten, dass wir es in dem ersteren nicht mit dem Gesammtrest der letzteren zu thun haben. Zur Erläuterung dieses Sachverhaltes mag der Vergleich der beiden Figuren 137, bei D, und 138 dienen, von denen die erstere genau dem beobachteten Object entsprechend gezeichnet ist, die andere in schematischer Weise das Netzwerk der angeblich ungelöst bleibenden „Mittellamelle" in den genauen Maassverhältnissen, und zwar bei a eines nicht mit Reagentien behandelten, bei b eines den beschriebenen Einwirkungen ausgesetzt gewesenen Schnittes darstellt.

Fig. 138.

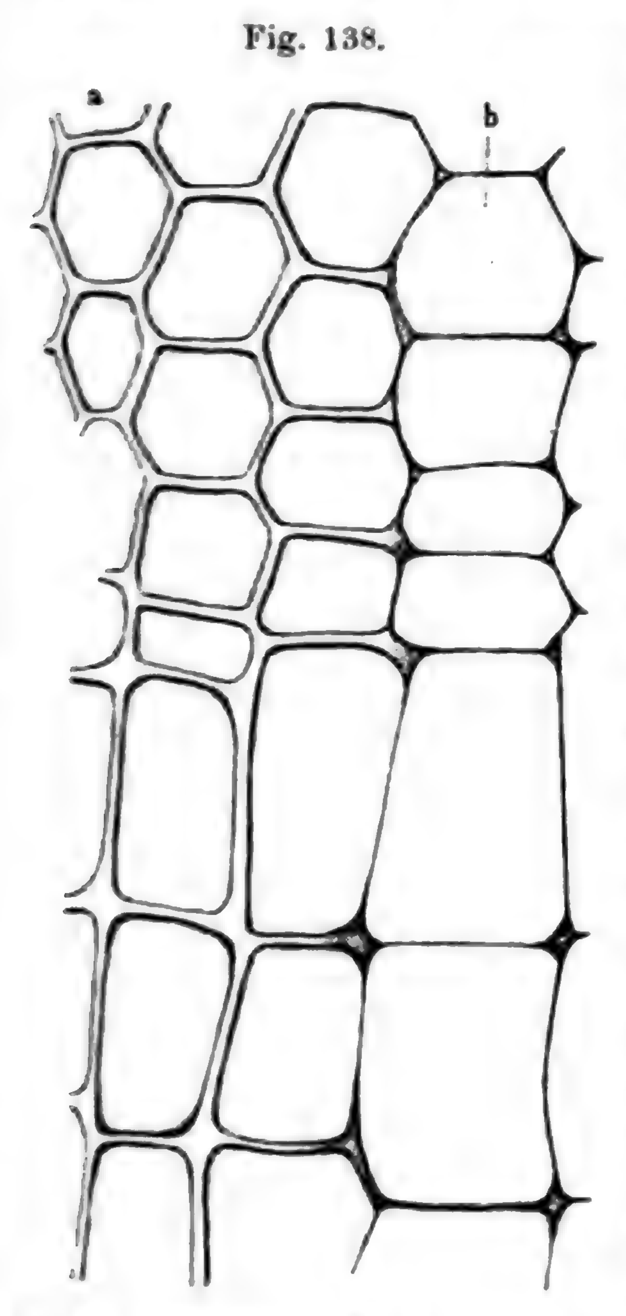


Fig. 138. Halb schematische Darstellung der Schwefelsäurewirkung, bei *a* nach der Hofmeister-Sachs'schen Darstellung, bei *b* nach der thatsächlichen Erscheinung.

Das Verhalten gegen das polarisirte Licht, die Macerationsmittel und concentrirte Schwefelsäure ergiebt nun als Resultat: Erstens, dass

die „Mittellamelle“ in ihrer ganzen Masse weder in jenen löslich, noch in letzterer unlöslich, dass sie ferner nicht einfach, sondern aus drei Theilen: einer mittleren, den benachbarten Zellen gemeinschaftlichen, nur da, wo Intercellularräume vorhanden sind, sich spaltenden und diese auskleidenden (siehe weiter unten), in den Macerationsflüssigkeiten löslichen Platte, der „Intercellularsubstanz“, und den beiden primären, in den genannten Reagentien nicht, dagegen gleich den übrigen Zellwandtheilen in concentrirter Schwefelsäure löslichen Zellwänden der Nachbarzellen zusammengesetzt ist; zweitens, dass die mittlere Platte von den beiden anderen Theilstücken der „Mittellamelle“ in ihrem molecularen wie chemischen Aufbau verschieden sein muss.“

Es bleibt nun, nachdem obige Resultate festgestellt worden sind, an der Hand von optischem Verhalten, Reactionen und Färbungen noch die zweite Frage zu lösen, in wie weit die Behauptung richtig sei, dass auch diese Mittelplatte („Intercellularsubstanz“) ein äusserst stark verholzter Abkömmling aus dem Zellstoffbestande der Zellwand sei, in dem sich auf gleiche Weise wie in den übrigen minder stark verholzten Zellwandtheilen nach entsprechender Vorbehandlung Zellstoff nachweisen lasse.

Sollte die Intercellularsubstanz sich vor den übrigen Zellwandtheilen in ihrer Molecularstructur wie in ihrer chemischen Zusammensetzung nur durch eine stärkere Verholzung auszeichnen, so müsste zweierlei zu erkennen sein. Erstlich könnte dieselbe in solchen Geweben, wo in keinem Theile der dasselbe zusammensetzenden Zellen irgend ein Product der Verholzung erkannt werden kann, wo also ein Unterschied der geforderten Art nicht hervortritt, weder optisch noch chemisch nachweisbar sein. Zweitens müsste in den verholzten Geweben auch für sie das gleiche optische und chemische Verhalten, wie für die übrigen Zellwandtheile in die Erscheinung treten.

In optischer Beziehung gewährt aber die Beobachtung in polarisirtem Lichte folgende Resultate. Auch in nicht verholzten Geweben erkennt man auf hinreichend dünnen Querschnitten im dunklen Sehfeld das dunkle, nicht leuchtende, bei Anwendung von verzögernden Gypsplättchen die Farbe des Sehfeldes wiedergebende Maschenwerk zwischen den je nach ihrer dichteren oder weicheren Beschaffenheit im einen Falle mehr oder minder stark aufleuchtenden, im anderen in Additions- oder Subtractionsfarben erglänzenden Zellwänden. In Bezug auf die verholzten Gewebe ist aber in dem Voranstehenden bereits nachgewiesen worden, dass die mittlere Theilplatte der „Mittellamelle“, d. h. die umgebildete Cambialwand (Intercellularsubstanz), keine Polarisationswirkung erkennen lässt, während eine solche in den übrigen Wandschichten stark hervortritt. Ein Product sehr weitgehender Verholzung können wir also in derselben nicht erkennen. Das gleiche optische Verhalten in nicht verholzten, wie in verholzten Geweben leitet dagegen auf den

Digitized by Google

Schluss, dass wir es hier in beiden Fällen mit dem wesentlich gleichen Producte des Zellenlebens zu thun haben, wenn dasselbe auch je nach seinem Vorkommen in dem einen oder dem anderen, anderweitige Veränderungen erlitten haben mag.

Suchen wir uns zunächst über das Verhalten nicht verholzter Gewebe gegen die Macerationsmittel und concentrirte Schwefelsäure zu unterrichten, so zeigt sich Folgendes: Concentrirte Schwefelsäure löst in derartigen Geweben die Zellwände unter Zurücklassung eines feinen Maschenwerkes, während Kali, Salpetersäure, das Mangin'sche Mittel und das Schulz'sche Macerationsgemisch die Trennung derselben herbeiführen. Beide Arten von Reagentien wirken also hier in derselben Weise, wie bei verholzten Geweben, ohne dass die Resistenz gegen das eine, die Löslichkeit in den anderen aus dem Vorhandensein von aus Zellstoff hervorgegangenen Verholzungsproducten abgeleitet werden könnte. Gegen Jod und Schwefelsäure, die zusammengesetzten Jodlösungen, die Holzstoffreagentien, insbesondere Phloroglucin, sowie gegen Färbeflüssigkeit zeigt die Intercellularsubstanz an nicht vorbehandelten Schnitten folgendes Verhalten. In unverholzten Geweben bleibt dieselbe unter Einwirkung der beiden ersteren Reagentien, gleich der Cambialwand (siehe S. 10), ungefärbt, bei verholzten dagegen macht sie sich den verholzten Zellwänden gegenüber meist durch eine dunklere Färbung kenntlich und die durch Chlorzinkjodlösung oder die anderen Jodpräparate im ersten Falle violett oder blauviolett, durch Jod und Schwefelsäure intensiv blau, im anderen gelb bis gelbbraun gefärbten Zellwände erscheinen, wie ich schon 1851 nachgewiesen habe, dort durch feine, weisse Linien, welche den im polarisirten Lichte beobachteten dunklen Linien entsprechen, von einander getrennt (Fig. XV und XVI, Tafel II). Die mittlere Platte des Netzwerkes, d. h. der „Mittellamelle“, besteht also bei den unverholzten Geweben sicher nicht aus Zellstoff, obwohl bei denselben von einer chemischen Umbildung im Sinne der Verholzung nicht die Rede sein kann. Phloroglucin und Schwefelsäure färben dieselbe weit tiefer, als die verholzten Zellwände. So z. B. zeigt erstere an dünnen Schnittstellen ein schönes feuriges Carminroth, während letztere blass fleisch-rosafarben erscheinen. Derart gefärbte Präparate lassen sich vielleicht in Glyceringelatine aufbewahren, wenn man sie unmittelbar aus der Reagenz in letztere überträgt. Versuchspräparate haben sich wenigstens seit Wochen erhalten. Von den Färbeflüssigkeiten ertheilen alle auf Pectose hinweisenden in den unverholzten Geweben der fraglichen Wandschicht eine tiefere Färbung, als den übrigen, während bei aus pectosefreiem Zellstoff aufgebauten Zellwänden, wie bei den Bastfasern mancher Asclepiadeen und Apocyneen (Nerium u. a.), die letztere als allein gefärbtes, auch die Intercellularräume auskleidendes Netzwerk erscheint (Fig. 139, a. f. S.). Eine weitere Stütze der bereits gewonnenen Beobachtungsresultate, namentlich aber einen Beweis dafür, dass wir es hier nicht mit der sehr starken Verholzung einer Schicht der Zellstoffwand zu thun haben, gewährt das

Digitized by Google

Fig. 143.

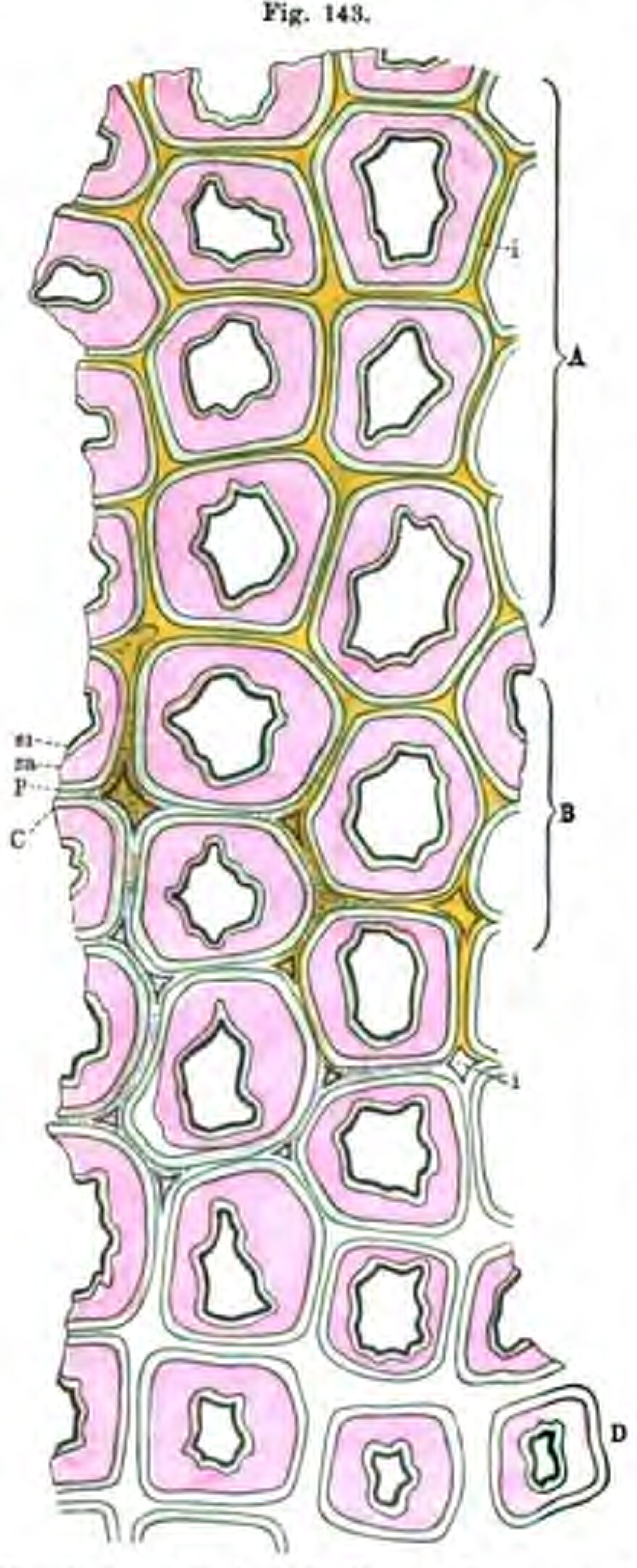


Fig. 143. Querschnitt durch das Holz von Pinus canariensis nach der Behandlung mit dem Schulz'schen Gemische längere Zeit der Einwirkung von Chlorzinkjodlösung unterworfen. Vergrösserung 1:500.

beziehentlich eine mehr ins Blaue spielende Farbe zeigen, wird jene in einem tiefrothen, beziehentlich tiefvioletten, sich scharf abhebenden Ton gefärbt.

An gelungenen Querschnitten aus verholzten Geweben, z. B. aus dem Holze der Laub- und Nadelhölzer, welche nach längerer Einwirkung von Salzsäure-Alkohol sorgfältig ausgewaschen und in eine der schon öfter erwähnten, Pectinstoffe anzeigenden Färbeflüssigkeiten eingetragen wurden, erscheint die Intercellularsubstanz tiefer und in anderem Farbentone, als die Zellwände, bei Rutheniumrothlösung überall da, wo es nicht schon ohne Vorbehandlung geschieht, allein oder doch in stark hervorragendem Maasse gefärbt. In der oben beschriebenen Weise mittelst Salpetersäure und chlorsaurem Kali behandelte Schnitte lassen, häufig schon kurz nach der Befeuchtung, besonders aber nach mehrtägiger Behandlung mittelst Chlorzinkjodlösung, folgende Färbung erkennen. Die primäre Zellwand erscheint scharf abgesetzt blauviolett, die äussere, schwächer licht-

Digitized by Google

brechende Schicht der secundären Verdickung violettroth, die innere, stärker brechende Schicht, d. h. die Innenwand, hellviolett bis blauviolett gefärbt. Das Maschenwerk der mittleren Theilplatte des ganzen Netzwerkes kann sich, je nach der mehr oder minder kräftigen Einwirkung des macerirenden Reagenzes verschieden verhalten. Wo die letztere verhältnissmässig gering war, tritt eine hochgelbe Färbung hervor (Fig. 143, bei A) und es wird dieselbe in dem Maasse blasser, als die Einwirkung kräftiger wurde (Fig. 143, bei B) bis bei sehr hochgradiger Wirkung, welche die „Intercellularsubstanz" der Lösung nahe gebracht, oder theilweise schon gelöst hat, diese im Ganzen oder in den noch erhaltenen Resten vollständig farblos erscheint (Fig. 143, bei C). Derartige Präparate sind besonders geeignet, in ihren verschiedenen Uebergängen der Färbung die Behauptungen zu widerlegen, dass die Mittelplatte zur Zellstoffreaction übergeführt werden könne. An solchen mussten, in den der Lösung ganz nahe gekommenen Resten der letzteren, wenn in diesen auch nur Spuren von Zellstoff noch vorhanden wären, sich dieselben dem Auge durch blaue Färbung verrathen. Um nichts zu versäumen, was Gewissheit geben könnte, bringe man auf feine, in Salpetersäure und chlorsaurem Kali digerirte Querschnitte einen Tropfen Aetzkalilösung, lasse diesen rasch ablaufen, gebe, nachdem mit Wasser gut ausgewaschen, Chlorzinkjodlösung zu und lasse das Präparat unter beständiger Erneuerung des letztgenannten Reagenzes mehrere Tage liegen. Der Erfolg dieses Verfahrens wird sein, dass bei minder hochgradiger Einwirkung des Schulz'schen Gemisches die mittlere Theilplatte („Intercellularsubstanz") gelb gefärbt wird, bei höheren dagegen ungefärbt bleibt, während in den Zellwandtheilen der Farbenton etwas mehr wie vorher nach Blau hinübergeführt erscheint.

Die erhaltenen Präparate lassen sich, wenn auch nicht mit voller Erhaltung der Farben, in mit Chlorzinkjod versetztem Glycerin aufbewahren (vor etwa 15 Jahren eingelegte Schnitte zeigen noch heute die verschiedenen Farbenabstufungen verhältnissmässig gut). Dieselben bedürfen aber eines sehr dichten und haltbaren Verschlusses, welcher sich mittelst eines vollständigen Lackrahmens bei nicht überschüssiger Menge des Glycerins und gutem Eindrücken des Deckglases erreichen lässt.

Sehr schöne und lehrreiche Bilder gewähren die in Chlorzinkjod gefärbten Schnitte bei Beobachtung nach der von Ambronn neuerlichst eingeführten Beobachtungsweise in Folge des durch die Färbung herbeigeführten Pleochroismus der Zellstoffwände. Beobachtet man einen recht gelungenen macerirten und mit Chlorzinkjod gefärbten Schnitt von Pinus silvestris oder Pinus canariensis, nachdem man unter demselben den Polarisator mit in der bei den Polarisationsbeobachtungen festgehaltenen Lage aufgelegten Gypsplättchen zweiter oder dritter Ordnung (wegen der lebhafteren Complementärfarbe) eingesetzt hat, dann zeigen die mit der Schwingungsebene des Nicols gleichlaufenden Wände in der

Digitized by Google

Primär- und Innenwand ein lebhafteres, in der schwächer brechenden secundären Verdickung ein blasseres Grün, während jene auf dieser Ebene senkrechten in gleicher Abstufung von Roth aufleuchten. Das vorher gelb- bis braungelb gefärbte Netzwerk der Intercellularbsubstanz behält dagegen in allen Richtungen diese Färbung und hebt sich deutlich und scharf gegen die Zellstoffwände ab.

Fig. 144.

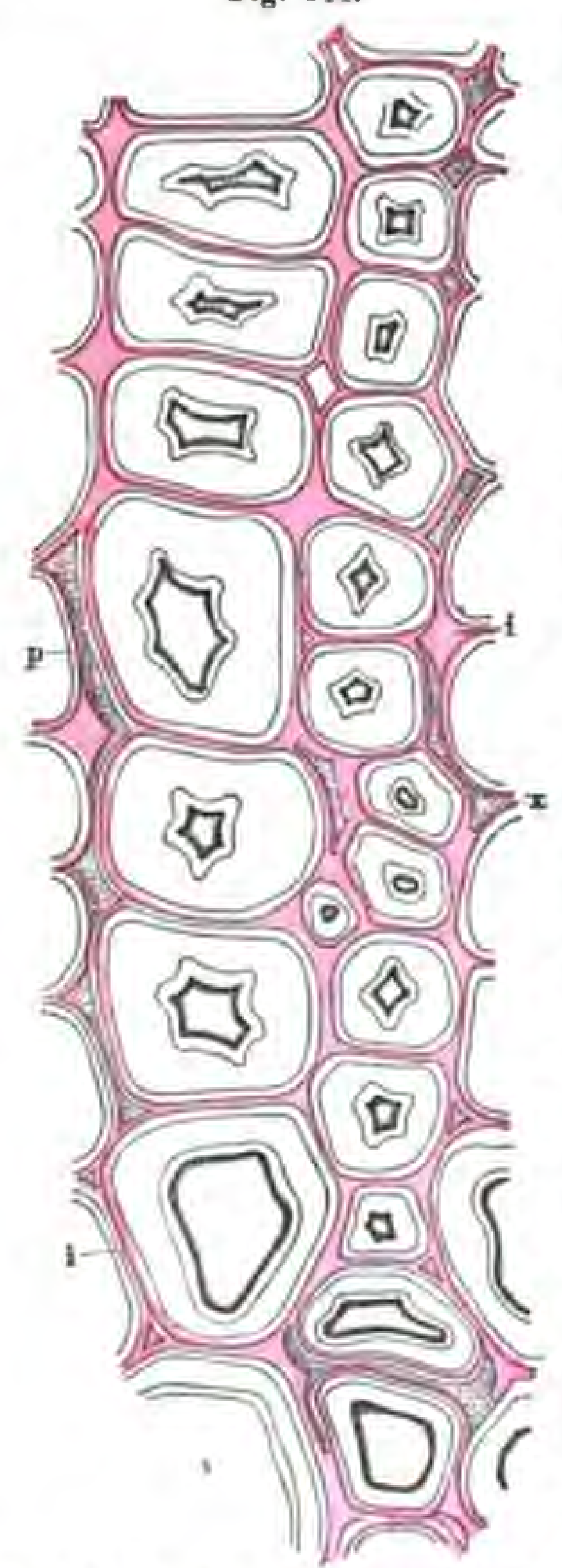


Fig. 144. Querschnitt aus dem Holze von Pinus canariensis nach der Behandlung mit dem Schulz'schen Gemische mittelst Fuchsin gefärbt. Vergr. 1 : 500.

Zarte Querschnitte eines verholzten Gewebes, welche so lange mittelst des Schulz'schen Gemisches bei Zimmertemperatur digerirt wurden, bis die „Intercellularsubstanz" ihrer Lösung nahe gebracht war, zeigen nach kurzem Verweilen in einer verdünnten Lösung von Fuchsin folgendes Verhalten. Alle Theile der Zellwand, und zwar die Primärwand sowohl, als die secundäre Verdickung bleiben gänzlich ungefärbt, während die mittlere Platte des Netzwerkes sich intensiv roth färbt (Fig. 144). Diese Färbung tritt auch da noch in intensiver Weise auf, wo, wie der Augenschein lehrt, nur noch Spuren von jener ungelöst geblieben sind und eine weitere minimale Wirkung des Macerationsgemisches die Lösung herbeigeführt haben würde. An derartigen Stellen der Präparate wäre aber der Punkt gekommen, wo die Verholzungsproducte gelöst und nur die Zellstoffreste noch zurückgeblieben wären, welche dann ebensowohl, wie die anderen Theile der Zellwände, ungefärbt hätten bleiben müssen. Wollte man aber annehmen, es sei auch in so weit von dem Macerationsgemische angegriffenen Theilen der mittleren Theilplatte noch ein — sicherlich doch nur höchst geringer — Rest von Verholzungsproducten zurückgeblieben und habe die intensive Färbung veranlasst, so lehrt der Vergleich solcher Schnitte, bei welchen das Macerationsmittel entweder gar nicht oder doch nur unvollständig auf die Zellwände gewirkt hat, sofort, dass jene nicht aus der erwähnten Voraussetzung

Digitized by Google

abgeleitet werden kann. Selbst da, wo noch die gesammten Verholzungsproducte, oder ein grosser Theil derselben ungelöst in den Zellwänden verblieben sind, ist die Färbung dieser eine weit weniger starke, als jene der substanzärmsten Reste der Mittelplatte („Intercellularsubstanz"). Die Aufbewahrung der Präparate erfolgt nach entsprechender Vorbehandlung in einer Harzlösung, Glyceringummi oder Glyceringelatine.

Die Cuticula wird im nächsten Kapitel unter „Oberhautgewebe" betrachtet.

Meyen: 1. Jahresberichte 1837, S. 67; 1838, S. 23. 2. Neues System der Pflanzenphysiologie, Bd. II, S. 285 und Bd. I, S. 160.

Schleiden: Einige Bemerkungen über die sogenannte Holzfaser der Chemiker. Wiegmann's Archiv 1838, I, S. 49. Beiträge zur Botanik, S. 13. — Einige Bemerkungen über den vegetabilischen Faserstoff und sein Verhältniss zum Stärkemehl. Poggendorff's Annalen 1838, Bd. 43, S. 391. Beiträge, S. 160. — Noch einige Bemerkungen etc. Flora 1840, Nr. 47 u. 48. Beiträge, S. 172.

H. v. Mohl: 1. Erläuterung und Vertheidigung etc. 1836. 2. Einige Beobachtungen über die blaue Färbung der vegetabilischen Zellmembran durch Jod. Flora 1840. Vermischte Schriften, S. 335. 3. Bildet die Cellulose die Grundlage sämmtlicher vegetabilischen Membranen? Botanische Zeitung 1847, S. 497.

Harting u. Mulder: Versuch einer allgemeinen physiologischen Chemie. 1844. S. 418 u. 499.

A. Wigand: Intercellularsubstanz und Cuticula. 1850. Botanische Untersuchungen 1854.

Schacht: 1. Lehrbuch der Anatomie und Physiologie. I, S. 108 und 133. 2. Das Mikroskop etc. 1862. S. 115.

Dippel: 1. Beiträge zur Lösung der Frage etc. Botanische Zeitung 1851, S. 409. 2. Die Intercellularsubstanz und ihre Entstehung. Rotterdam 1867. 3. Einige Bemerkungen u. s. w. Flora 1874 bis 1875. 4. Die neuere Theorie u. s. w. Abhandl. Senkenb., S. 125. Separatabdr., S. 35: „III. Die Structur der sogen. Mittellamelle."

Sanio: 1. Ueber den Holzstoff. Botanische Zeitung 1860, S. 202, und 1863, S. 362, Anmerkung. 2. Ueber Intercellularsubstanz im Holze. Botanische Zeitung 1860, S. 209. 3. Anatomie der gemeinen Kiefer. Pringsh. Jahrb., Bd. IX. 4. Gegenbemerkungen. Flora 1874, S. 549, und 1875, S. 314.

Nägeli: Ueber das Verhalten der Zellhaut zum Jod. Sitzungsberichte der königl. bayerischen Akademie der Wissenschaften 1863. S. 383.

Wiesner: Anatomisches und Histochemisches über das Zuckerrohr. Karsten's Botanische Untersuchungen. Heft II, S. 120, 1866.

Burgerstein: Untersuchungen über das Vorkommen und die Entstehung des Holzstoffes in den Geweben der Pflanze. Sitzungsber. d. kaiserl. Akad. d. Wissensch. in Wien, Bd. 70, 1. Abthl., S. 338, 1874.

Höhnel: 1. Ueber den Kork und verkorkte Gewebe überhaupt. Sitzungsber. d. kaiserl. Akad. d. Wissensch. in Wien, Bd. 76, I, S. 507, 1877. 2. Histochemische Untersuchungen über das Xylophin und das Coniferin. Ebendas., S. 663.

Niggl: Ueber die Verholzung der Pflanzenmembranen. Separatabdr. aus dem Jahresbericht der Pallichia und Flora 1881, S. 545.

Singer: Beiträge zur näheren Kenntniss der Holzsubstanz und der verholzenden Gewebe. Sitzungsber. d. kaiserl. Akad. d. Wissensch. in Wien, Bd. 85, I S. 345, 1882.

Giltay: Das Verhalten von Hämatoxylin gegen Pflanzenmembranen.

Digitized by Google

Sitzungsber. d. königl. Akad. d. Wissensch. in Amsterdam, Sitz. vom 27. Oct. 1883, S. 2.

Molisch: Ein neues Coniferinreagenz. Ber. d. botan. Gesellsch. 1886, S. 301.

Ambronn: 1. Pleochroismus gefärbter Zellmembranen. Berichte d. bot. Gesellsch., Bd. VI, Heft 2, S. 85. 2. Ueber das optische Verhalten der Cuticula und der verkorkten Membranen. Ebendas., S. 226, 1888.

Nickel: 1. Bemerkungen über die Farbenreactionen und die Aldehydnatur des Holzes. Bot. Centralbl., Bd. 38, 1889. 2. Die Farbenreactionen der Kohlenstoffverbindungen. 1890.

Mangin: La substance intercellulaire. Compt. rend., Vol. 110, 1890 und a. a. O.

Gibson: La subérine et les cellules de liège. La Cellule, Vol. VI, 1890.

Hegler: Histochemische Untersuchungen verholzter Zellmembranen. Flora 1890.

Zimmermann: Botanische Mikrotechnik. 1892.

Drittes Kapitel.

Die Arten der Pflanzenzellen.

Es ist bereits in den früheren Auseinandersetzungen darauf hingewiesen worden, dass die Pflanzenzellen ursprünglich ihrer äusseren Erscheinung, d. h. ihrer Form nach annähernd gleichartig, entweder von mehr bis minder — bei freien Zellen — der Kugel oder — im Gewebeverbande — dem regelmässigen Vielflächner sich nähernder Gestalt sind. Erst in Folge der späteren, im vorigen Kapitel kennen gelernten Umbildungsvorgänge treten dieselben zu den verschiedenen Zellenarten auseinander. Nach dem gegenwärtigen Standpunkte der Zellkunde bleibt uns, wenn wir nicht nach den — für die hier in Betracht kommende morphologische Betrachtung unzulässigen — physiologischen Thätigkeiten oder nach den Geweben classificiren wollen, an denen die Zellen theilnehmen, und welche ja nicht einmal immer gleichartig sind, also gar nicht als Eintheilungsgrund dienen können, nichts anderes übrig, als jene nach ihrer Form mit Zuhilfenahme der Structur ihrer Zellwand und der Art und Weise ihrer Verbindung unter einander zu unterscheiden. Freilich werden wir auch, wenn wir diesen einfachen Theilungsgrund zu Hilfe nehmen, nicht jede Zellenart in scharf gezogene Grenzen einschliessen können, sondern hier und da Uebergänge finden, in denen sich zwei Zellenarten mehr oder weniger nahe berühren. Aber das lässt sich einmal nicht ändern, indem die Natur sich nicht in streng mathematische Formen zwängen lässt.

Auf obiger Grundlage und mit möglichster Berücksichtigung der Einfachheit lassen sich folgende drei Hauptzellenarten unterscheiden:

Parenchymzellen, Faserzellen und Röhrenzellen.

Digitized by Google

I. Parenchymzellen.

Unter Parenchymzellen sind alle Zellen von kugelähnlicher, mehr oder minder regelmässig und gleichmaassig vielflächiger (polyëdrischer), kantensäuliger (prismatischer) oder walzenförmiger Form zusammenzufassen, die sich in senkrechter Richtung entweder mit gekrümmten oder geraden, wagerechten oder verschieden geneigten, den Seitenflächen in dem feineren Bau gleichen oder ähnlichen Flächen ihrer Zellwand berühren, und deren Wandung entweder ganz homogen oder in verschiedenster Weite verdickt sein kann, dann aber keine oder nur in seltenen Fällen vorkommende, deutlich behöfte oder siebartige Poren besitzt.

Die Parenchymzellen setzen in mancherlei Abänderungen den ganzen Körper der sogenannten Zellenpflanzen, Pilze, Flechten, Algen und eines Theiles der Moose, bei den höher entwickelten Pflanzen wesentlich sämmtliche gleichartigen Gewebe, also die Haut- und Grundgewebe: Oberhaut und Kork, Mark und Rinde, zusammen. In dem voll ausgebildeten Gefässbündel treten sie durch das ganze Gebiet der Gefässpflanzen neben Faser- und Röhrenzellen auf.

1. Dünnwandige Parenchymzellen.

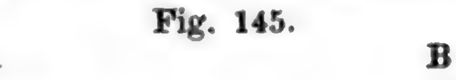
Am häufigsten kommen die dünnwandigen oder nur mässig verdickten Parenchymzellen vor. Ihre Gestalt, welche ursprünglich bei nach den drei Richtungen nahezu gleichem Ausmaasse nahezu regelmässig vielflächig erscheint, behält nur selten diese Form bei, sondern ändert sich im Laufe des Wachsthumes in mannigfacher Weise und nimmt die verschiedenen Formen an, welche im vorigen Kapitel, S. 123 u. f., Fig. 62 bis 64, näher beschrieben worden sind.

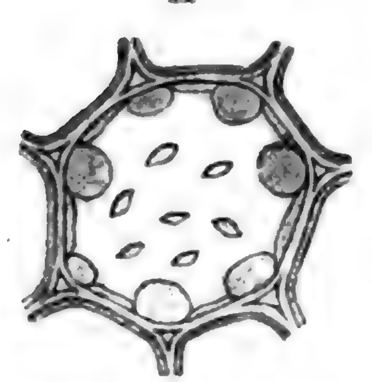
Die Zellwand erscheint bald nur als Primärwand ausgebildet und über ihre ganze Fläche gleichartig, d. h. ohne Zeichnung (vegetative Zellen der Pilze, Flechten und Algen, die Zellen der meisten Leber- und Laubmoosblätter u. s. w.), bald besitzt dieselbe schwächere, secundäre Verdickungsschichten, welche ringförmig, spiralförmig, netzförmig angeordnet sind, oder von kleineren oder grösseren, spaltenförmigen, länglichrunden bis kreisrunden, immer geschlossenen Poren unterbrochen werden. Für die Beobachtung dieser verschiedenen Verdickungsformen der Zellwand liefern die schon früher angeführten Pflanzen und Pflanzentheile vortreffliche Beispiele.

In der Regel verholzen die Wände dünnwandiger Parenchymzellen niemals. Dieselben färben sich daher (mit Ausnahme der aus sogenannter Pilzcellulose bestehenden) nach Anwendung von den mehrfach erwähnten Jodpräparaten oder von Jodlösung und Schwefelsäure, oft sogar nach

Digitized by Google

Behandlung mit Jodlösung allein violett bis rein blau. Ebenso nehmen sie die im Vorausgehenden oft genannten Färbeflüssigkeiten, welche den chemisch noch unveränderten Baustoff, sei er reine Cellulose oder Pectose-Cellulose, anzeigen, auf, während sie bei Anwendung von schwefelsaurem Anilin, Phloroglucin und den übrigen, die Verholzung kundgebenden Färbemitteln farblos bleiben. Hier und da trifft man jedoch auch verholzte dünnwandige Parenchymzellen an, so z. B. in dem Marke und dem Blattstiele der Cycasarten und mancher Palmen, in dem Holzparenchym und den Markstrahlen der Holzgewächse (Eiche, Buche, Esche, Tanne u. s. w.). Aber auch hier, wo dann bei genauerer Beobachtung mittelst geeigneten stärkeren Objectiven stets eine, wenn auch nur geringe secundäre Verdickung nachweisbar wird, bleiben die Schliesswände der Poren, welche der Diffusion den Weg offen halten, unverholzt. Während Chlorzinkjodlösung oder Jod und Schwefelsäure die primäre Zellwand sowohl als die secundären Schichten gelb färben, erscheinen die Schliesshäutchen der Poren violett oder blau gefärbt (Fig. 145, *A* u. *B*). In ähnlicher Weise verhalten sich die ringförmig, spiralig und netzförmig verdickten Parenchymzellen, welche sich in der Kapselwand und als Schleudern der Lebermoose, ferner unter der Epidermis der Antheren finden. Die Verdickungsschichten erscheinen hier oft mehr oder weniger stark verholzt und färben sich durch oben genannte Reagentien gelb bis gelbbraun, während die primäre Zellwand sich bläut. Behandelt man derartige Parenchymzellen mit Aetzkali, Salpetersäure oder mit letzterer und chlorsaurem Kali in der Wärme, so zeigen auch die verholzten Theile gegen Chlorzinkjodlösung u. s. w. Zellstoffreaction. Andere ringförmig, spiralig oder netzförmig verdickten Zellwände der Parenchymzellen bleiben durch ihre ganze Masse unverholzt, färben sich mittelst Chlorzinkjodlösung oder Jod und Schwefelsäure violettblau oder rein blau und reagiren gegen die übrigen Färbeflüssigkeiten in bekannter Weise. Dahin gehören u. a. namentlich die in den Blättern von Pellia epiphylla und manchen höheren Pflanzen, sowie die in der Rinde des Hollunder und der Balsaminen u. s. w. hier und da vorkommenden Zellen.





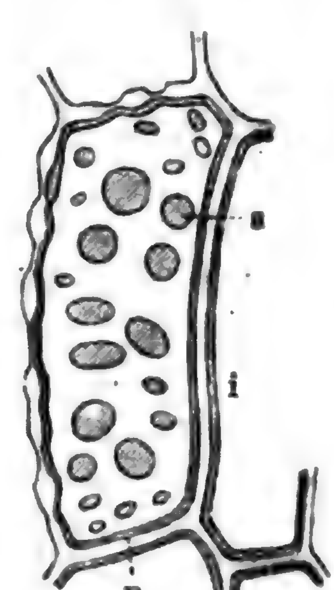


Fig. 145. *A* Quer-, *B* Längsschnitt aus dem Parenchym eines jungen Blattstieles von Cycas revoluta mit Jod und Schwefelsäure behandelt. Vergrösserung 1 : 370.

Wendet man auf die frischen Präparate als Reagens Chlorzinkjodlösung oder die anderen Jodpräparate an, so ist zu empfehlen, deren Wirkung nicht allein sofort nach der Anwendung, sondern nach einer

Digitized by Google

mehr- bis 24stündigen Einwirkung zu beobachten, weil die charakteristische Färbung der unverholzt gebliebenen Theile der Wandungen, der Schliesshäute und jüngsten Wandschicht oft erst nach einiger Zeit eintritt.

In allen diesen Fällen empfiehlt es sich, ausser diesen länger verwendeten auch die anderen Färbemittel für den reinen und umgebildeten Zellwandbestand, insbesondere auch die den Pectinstoffe anzeigenden, anzuwenden, da mittelst derselben höchst belehrende Bilder gewonnen werden können.

2. Verdickte Parenchymzellen.

Parenchymzellen mit stark verdickter Zellwand kommen verhältnissmässig weit seltener vor, als die vorhergehenden. Dieselben sind theils unverholzt, wie in dem Collenchym und dem Sameneiweisse mancher Gewächse, theils verholzt, wie in dem Marke und der Rinde einzelner Pflanzen (Hoya, Picea, Fraxinus, Fagus, Prunus), in den Frucht- und Samenschalen anderer (Prunus, Juglans, Pinus, Larix u. s. w.).

Collenchymzellen. — Die Collenchymzellen, anfangs dünnwandig und von fast regelmässig vielflächiger (polyëdrischer) oder kantensäuliger (prismatischer), in einzelnen Fällen wohl auch von nahezu faserartig

Fig. 146.

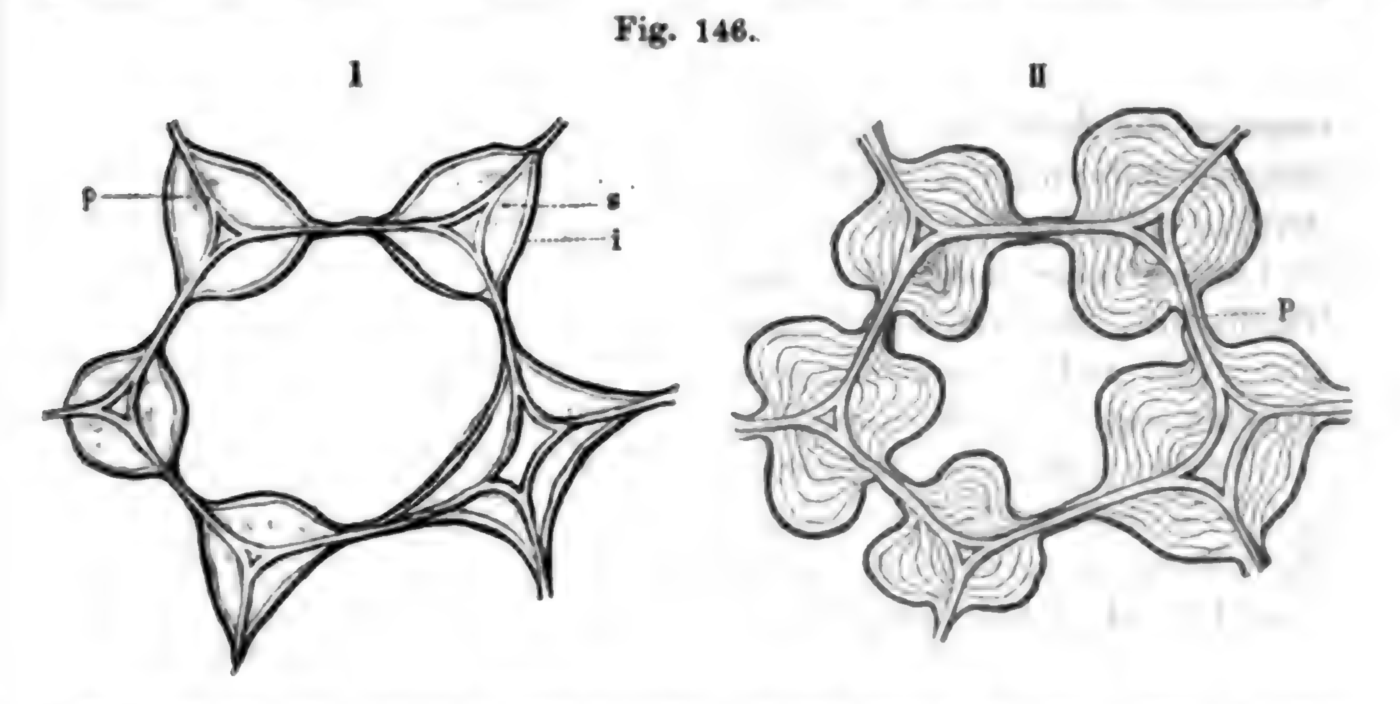


Fig. 146. In den Ecken verdickte Collenchymzellen aus dem Stengel von Rumex acetosa; I unter Wasser betrachtet, II nach der Behandlung mit Aetzkalilauge. *p*, *s* und *i* primäre, secundäre und innerste Wandschicht. Vergr. 1 : 660.

gestreckter Gestalt, verdicken ihre Wand vorzugsweise in den Ecken (Fig. 146), wodurch das Lumen derselben nicht selten eine nahezu runde oder länglichrunde Gestalt erhält (Fig. 68, IV, S. 131). An den quer durchschnittenen Zellen zeigt die Zellwand einen eigenthümlichen, wachsartigen Glanz und erscheint wie aufgequollen, ohne dass man eine deutliche

Digitized by Google

Schichtung der secundären Verdickung wahrnimmt. Jedoch tritt in dem Collenchym mancher Pflanzen (Umbelliferen u. a.) die Innenwand deutlich ausgesprochen hervor (Fig. 146, I, *i*, a. v. S.).

Um die Schichtung der secundären Verdickung zu studiren, namentlich aber, um zu ermitteln, ob letztere aus homogenen oder aus Schichten mit differenten Lamellen bestehen, und welche Dichtigkeitsunterschiede in diesem Falle auftreten, muss man die Zellen in Aetzkalilösung kochen, beziehentlich bei gewöhnlicher Temperatur mit Kupferoxydammoniak oder concentrirter Schwefelsäure behandeln, worauf sie unter gleichzeitigem Aufquellen deutlich, und zwar in einer Weise hervortritt, welche darthut, dass zum mindesten in den meisten Fällen nur homogene Schichten vorhanden sind (Fig. 146, II). Die ersteren Mittel sind hierbei vorzuziehen, weil das letztere die Zellwände rasch auflöst und nur das Netzwerk der Intercellularsubstanz zurücklässt.

Jod und Schwefelsäure sowie Chlorzinkjodlösung färben die secundären Verdickungsschichten sowie die Innenwand schön blau, die primäre Zellwand blassblau, während die Intercellularsubstanz völlig ungefärbt bleibt. Die Pectose anzeigenden Färbeflüssigkeiten: Rutheniumroth, Hämatoxylin, Methylenblau u. s. w. ertheilen allen Wandtheilen die charakteristischen, früher erwähnten Färbungen.

Zellen des Sameneiweisses. — Stark verdickte unverholzte Parenchymzellen finden sich ferner in dem Sameneiweisse der Lilien, der Palmen (Phytelephas, Phoenix u. a.), des Kaffeebaumes, des Johannisbrotbaumes (Ceratonia siliqua), der Melampyrum-Arten u. s. w. Auch hier besassen die Zellen ursprünglich eine fast regelmässige, in den drei Ausmaassen nahezu gleiche (Ruscus u. a.), oder eine minder bis mehr gestreckte (Phytelephas, Phoenix, Areca u. s. w.) Gestalt, wovon man sich an Längs- (quer durch den Samen) und Querschnitten (tangential zur Oberfläche), die man am besten etwa in der Mitte des Samens nimmt, überzeugt, und stiessen mit geraden Flächen aneinander. Bei manchen Objecten zeigen sich deutlich die drei S. 133 beschriebenen Wandschichten, bei anderen wird dieses Verhältniss nach der Ausbildung der Verdickungsschichten dunkler, so dass man z. B. bei der Elfenbeinnuss und dem Dattelkerne die primäre Zellwand nur leise angedeutet oder nicht erkennt (Fig. 147, *A*). Eine Schichtung lässt sich in der Regel ohne Weiteres bei diesen Zellen, mit Ausnahme der stärker lichtbrechenden Innenwand (Fig. 97, S. 171), nicht wahrnehmen. Sie tritt aber bei der Behandlung mittelst Chlorzinkjodlösung, Aetzkalis oder Chromsäure, bei denen der beiden ersteren und anderen Pflanzen mehr oder weniger deutlich hervor (Fig. 147, *B*).

Der chemische Bestand der Zellwände weicht hier — auch soweit er nicht, wie bei einer Anzahl Leguminosen, aus Schleim besteht (S. 189) — von demjenigen der übrigen Parenchymzellen ab, indem derselbe neben Zellstoff nach den Untersuchungen von Reiss und Schulze noch

Digitized by Google

einige andere, von dem letzteren verschiedene Kohlehydrate enthält, welche von Reiss, soweit sie in dem Sameneiweisse von Phoenix, Phytelephas u. a. vorkommen, als Reservecellulose, von Schulze, welcher sie, ausser bei diesen, auch bei Cocos, Elais, Tropaeolum, Paeonia, Triticum, Zea u. a., sowie bei gewissen Leguminosen, wie Vicia Faba, Soja hispida, Pisum sativum, Lupinusarten, aufgefunden hat, als Galactane, Manana und Arabana bezeichnet wurden und die man füglich nach letzterem Autor unter dem Namen Hemicellulosen zusammenfassen kann. Das Verhalten gegen die unverholzte Zellwände anzeigenden Reagentien und Färbeflüssigkeiten, zu dessen Beobachtung, damit — namentlich bei Längsschnitten gestreckter Zellen (Phytelephas, Phoenix u. s. w.) — nicht das gefärbte Protoplasma durchscheint und das Farbenbild trübt, möglichst dünne Schnitte oder von weniger dünnen die dünnsten Stellen zu wählen sind, zeigt sich demgemäss verschieden.

Fig. 147.

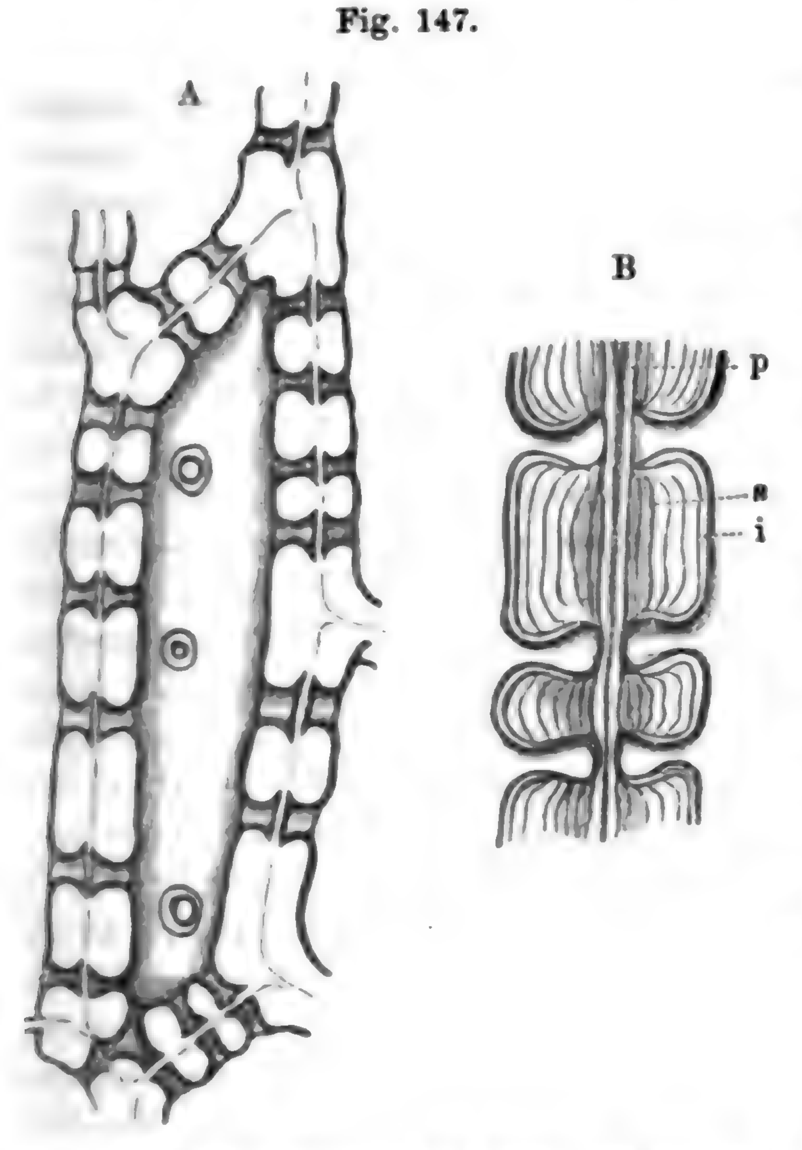


Fig. 147. Eiweisszellen aus dem Samen von Phoenix dactylifera. *A* ganze Zelle unter Wasser beobachtet. Vergr. 1:[illegible]. *B* Theil einer Zelle nach der Behandlung mit Aetzkalilauge, wodurch die Zellen sich getrennt haben, die Schichtung der secundären Verdickung deutlich geworden ist; *p*, *s*, *i* wie oben. Vergr. 1:1000.

Alle Verdickungsschichten färben sich bei Phytelephas sowohl als Phoenix, Areca, Raphia, Ptychosperma, Ruscus, Smilax u. s. w. erst nach längerer Einwirkung und namentlich nach zeitweiliger Erneuerung des Reagenzes mit Ausnahme der Cambialwand nach und nach durch Chlorzinkjodlösung blassviolett bis blau. Lösungen von Safranin und Hämatoxylin werden, wie schon früher S. 221 berührt, bei den Eiweisszellen nur von der Cambialwand (Mittellamelle in meinem Sinne, nicht Hofmeister, Sachs u. A., Intercellularsubstanz) aufgenommen, während die übrigen Wandschichten ungefärbt bleiben. Gegen Rutheniumroth verhalten sich dieselben ähnlich, jedoch tritt in einzelnen Fällen (Raphia, Ptychosperma) schwache Färbung der Primärwände ein. Methylblau, Congoroth und Methylviolett färben die Wände mancher Eiweisszellen, so z. B. derjenigen von Ruscus- und Smilaxarten durch alle Schichten fast gleichmässig, aber meist schwach

Digitized by Google

und oft nur vorübergehend und leicht ausziehbar, Säurefuchsin und Erythrosin dagegen, und zwar letzteres, mit Ausnahme der Innenwand (Fig. 102, S. 175), dauernd (Präparate von Smilax haben sich seit mehreren Jahren gehalten), während Methyl- und Malachitgrün, Fuchsin, Carminlösungen bei meinen Versuchen keine Färbung ergaben.

Die Verdickungsform ist die einfach poröse mit am Grunde stempelförmig erweiterten Canälen. Bei Phytelephas macrocarpa sind diese — oft verzweigten — Canäle der Poren, deren feineren Bau wir bereits in dem vorigen Kapitel, S. 170 u. f., näher kennen gelernt haben, ziemlich eng und am Grunde etwas erweitert, weiter sind dieselben bei dem Sameneiweisse von Phytelephas microcarpa, Phoenix, Areca und anderen Palmen, und noch weiter endlich bei Smilax, Ruscus u. a.

Stark verdickte, verholzte Parenchymzellen. — Die hierher gehörigen Markzellen der Clematis vitalba, welche sich vorzugsweise zum Studium aller in Betracht kommenden Structurverhältnisse eignen, wurden schon mehrfach besprochen. Verholzte, sehr dickwandige Parenchymzellen, Steinzellen (Steinsklerenchym und kurzes Sklerenchym, De Bary, Brachysklereïden und Bracheïden, Tschirch), von nahezu würfelähnlicher Form mit abgerundeten Kanten finden sich gruppenweise in dem Marke und in der Rinde von Hoya carnosa (Fig. 78, S. 139) in ganz ausgezeichneter Weise. Die Zellen besitzen in der Regel eine cubische Form und von zahlreichen, engen, häufig mehrfach verästelten Porencanälen durchzogene Schichten, welche, wie das optische Verhalten im frischen Zustande und die Quellungserscheinungen darthun, aus nur wenig differenten Lamellen bestehen. In ähnlicher Weise sind die verholzten Parenchymzellen in der Rinde von Cytisus Laburnum, Fraxinus excelsior, Ficus elastica u. s. w., des Wurzelstockes von Dentaria pinnata, der Knollen von Paeonia und Dahlia gebaut. Von einer mehr unregel-

Fig. 148. Fig. 149.

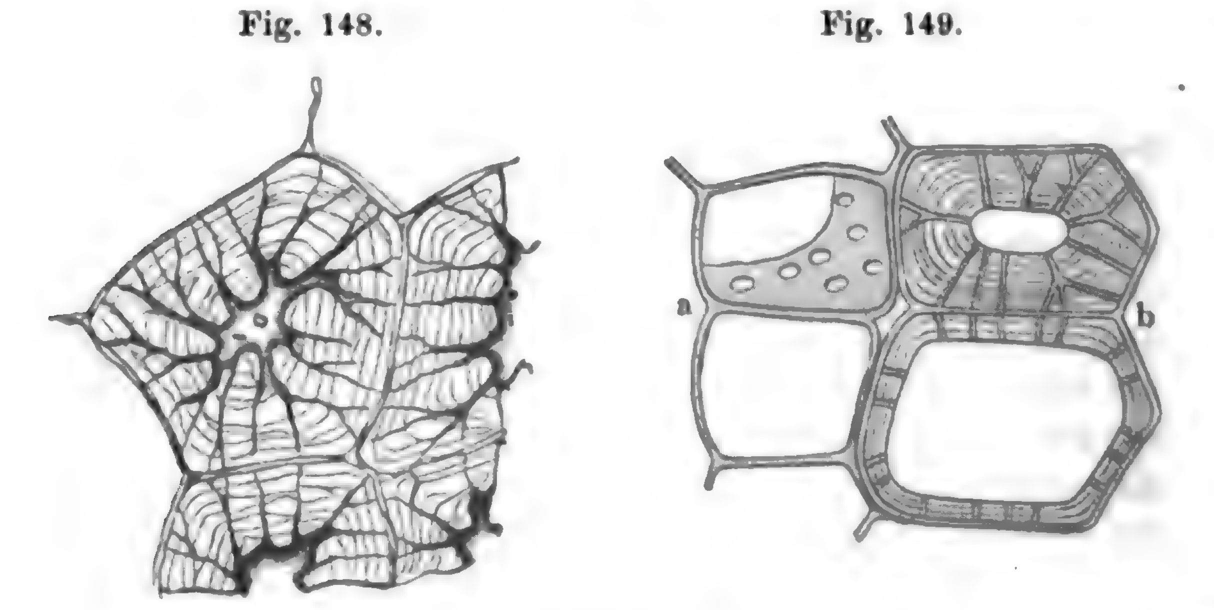


Fig. 148. Verholztes Parenchym aus der Fruchtschale von Juglans regia mit verzweigten Porencanälen. Vergr. 1 : 660. — Fig. 149. Querschnitt aus dem Marke von Hoya carnosa mit Jod und Schwefelsäure behandelt. Bei *a* zwei unverholzte, bei *b* zwei verholzte Parenchymzellen. Vergrösserung 1 : 540.

Digitized by Google

mässigen, häufig Verästelung zeigenden (Astrosklereïden, Tschirch, vielarmige Sklerenchymzellen, De Bary) Gestalt (Fig. 63, III, S. 125) sind die verholzten Zellen, welche in der Rinde von Fagus, Betula, Abies pectinata, Larix, Auracaria u. s. w. in Gruppen vorkommen, jene in den Samenschalen der Amygdaleen, der Juglandeen, der Magnolien, Proteaceen (Hakea), Myrtaceen (Bertholletia) u. s. w., sowie diejenige der steinigen Concretionen der Winterbirnen, deren ganzes Fruchtfleisch oft in verholztes Parenchym umgewandelt erscheint. Hier schreitet die mehr oder minder deutlich geschichtete Verdickung oft bis zum fast völligen Verschwinden des Lumens fort und die häufig verästelten, in einzelnen Fällen (Magnolia grandiflora) sogar mit einander netzartig in Verbindung stehenden Porencanäle sind äusserst fein (Fig. 148). Jod und Schwefelsäure sowohl als Chlorzinkjodlösung färben alle Schichten der Zellwand bis zu der jüngsten immer gelb (Fig. 149), ebenso zeigen die schon öfter berührten anderen Reagentien auf Holzstoff, durch die entsprechend abgetonte, einem jeden derselben eigenthümliche Färbung die mehr oder minder vollständige Verholzung an. Erst nach dem Kochen mit Aetzkalilösung, oder nach der Behandlung mit dem Schulz'schen Macerationsmittel tritt die charakteristische Reaction auf Zellstoff wieder hervor.

Optisches Verhalten der Parenchymzellen.

Da die Beobachtung der verschiedenen Zellenformen im polarisirten Lichte uns für die Folge mehrfach sowie in weiterem Umfange beschäftigen wird, sollen hier einige darauf bezügliche Erörterungen vorausgeschickt werden. Die dabei in Betracht kommenden Elementarorgane können zum grossen Theile als zur Prismen- und Cylinderform gehörig betrachtet, oder in einzelnen Fällen als Durchschnitte der Kugel angesehen werden, und richten sich hiernach die zur Beobachtung zu bringenden Ansichten.

Von den beiden ersteren Formen werden wir den Quer- und Längsschnitt, sowie die Flächenansicht, resp. Querschnitt, Rand und Mitte des betreffenden Elementarorganes in Betracht zu ziehen haben. Zur Erlangung des ersteren kann jeder Querschnitt des betreffenden Pflanzengewebes dienen. Derselbe muss indess gerade hier absolut senkrecht zur Zellenachse genommen und möglichst zart sein, um die auf demselben zur Geltung kommenden verschiedenen Wirkungsweisen der einzelnen Zellwandtheile u. s. w. mit Sicherheit feststellen zu können. Solche von isolirten oder im Verbande sehr zartwandiger Gewebe befindlichen Zellen, z. B. Zellen der Leber- und Laubmoosstengel, Fadenalgen, erlangt man am leichtesten und schönsten, wenn man einen Büschel derselben mit ziemlich starker Gummilösung (G., S. 372 u. H., S. 773) zu einem Stäbchen formt. Längsschnitte selbst eignen sich nur zur Beobachtung der Polarisationserscheinungen ihrer stehenden Wände, dagegen liefern

Digitized by Google

sie, worauf wir weiter unten zurückkommen werden, für die Flächenansicht oft einander entgegengesetzte und verwirrende Bilder, mit denen man erst vertraut sein muss, ehe man sie zu deuten versuchen darf. Besser eignen sich hier mittelst des Macerationsverfahrens isolirte Zellen, in denen, wenn die betreffenden Zellen nicht sehr stark verdickt sind, der optische Längsschnitt der stehenden Wände oder des Cylinders den wirklichen meistens vollständig zu ersetzen vermag. Hat man sich erst mit den optischen Erscheinungen, welche die Flächenansichten der isolirten Zellen hervorrufen, bekannt gemacht, dann kann der Längsschnitt für die Beurtheilung mancher Verhältnisse mit Vortheil zur controlirenden Beobachtung verwendet werden.

Trockene, in Luft befindliche Präparate geben, wie das natürlich ist, meist nur schlechte und undeutliche Bilder, es giebt indessen einzelne Objecte, welche auch diese Beobachtungsweise vertragen. Im Allgemeinen ist dieselbe für kein Object zu empfehlen, im Gegentheil ist hier ganz derselbe Weg der Umhüllung der betreffenden Präparate einzuschlagen, welcher bereits des öfteren beschrieben wurde. — Dass die Objecte für Polarisationsuntersuchungen einer besonderen Einhüllungsflüssigkeit, z. B. des Canadabalsams, bedürfen, ist wohl von manchen Beobachtern behauptet worden, aber keineswegs nothwendig. Man gebrauche nur getrost seine Präparate, so wie man sie eben dargestellt und umhüllt oder zur Conservirung aufbewahrt hat, und sie werden in keiner Weise die Resultate der Beobachtung nachtheilig beeinflussen. Nur in einzelnen Fällen mag die Farbengebung durch eine genau angepasste Zusatzflüssigkeit etwas brillanter werden, ohne dass aber nur dadurch Verhältnisse erkannt wurden, die, einen guten Polarisationsapparat vorausgesetzt, bei Anwendung eines anderen Mittels völlig dunkel geblieben wären.

Die Aufgaben, welche uns für die Ermittelung des optischen Verhaltens der Elementarorgane vorliegen, dürfen als aus den Darlegungen im Handbuche und den Grundzügen der allgemeinen Mikroskopie bereits bekannt vorausgesetzt werden. Die optisch zweiachsige Beschaffenheit ist für die Zellwand an und für sich unschwer zu erweisen. Anders dagegen gestaltet sich die Sache, wenn der Achsenwinkel und der positive oder negative Charakter bestimmt werden soll. Hier werden wir in den meisten Fällen das Ziel nicht zu erreichen vermögen. Das Einzige, was uns dann festzustellen möglich wird, ist die Lage der verschiedenen Elasticitätsachsen in Beziehung auf die räumlichen Dimensionen der betreffenden Objecte.

Um diese Aufgabe zu lösen, müssen wir den entgegengesetzten Weg einschlagen, den wir an gedachten Orten (H., S. 942 u. f.; G., S. 461 u. f.) verfolgten. Während wir dort die Elasticitätsachsen als gegeben betrachteten und aus diesen Daten die resultirenden Farbenerscheinungen ableiteten, haben wir hier von den auftretenden Farbenerscheinungen aus auf die Lage der Elasticitätsachsen zu schliessen. Um diesen Schluss mit der nöthigen Sicherheit vollziehen zu können, müssen wir die beiden

Digitized by Google

in jeder der drei, je zwei Elasticitätsachsen aufnehmenden Ebenen zur Geltung kommenden Elasticitätsachsen kennen. Diese drei Ebenen erscheinen aber, den mit den räumlichen Dimensionen dahingehenden Verlauf der letzteren vorausgesetzt, im Quer-, Längs- und Tangentenschnitt oder an Stelle dieses in der Fläche des Prismas, resp. der Mitte des Cylinders. Verläuft nur die eine der Achsen in dem Radius und sind die beiden anderen unter irgend einem Winkel zur Zellenachse geneigt, wie wir dieses nicht selten festzustellen im Stande sein werden, so giebt sich dieses sofort dadurch zu erkennen, dass die Flächen- oder Mittelansicht in keiner Stellung neutral wird und auch dann Farben hervorruft, wenn die Längsachse unter 0° oder 90° orientirt ist, d. h. parallel mit einer der Schwingungsebenen der beiden Nicols verläuft. Hier kommen dann im Quer- und Längsschnitt nicht die wahren Elasticitätsachsen zur Geltung, sondern es treten an deren Stelle jene Achsen, welche die Elasticitätsverhältnisse darstellen, die in einem dem Gesichtsfelde parallelen (elliptischen) Durchschnitte des geneigten Ellipsoids gegeben sind. Da aber auch in letzterem Falle diese Durchschnitte und ihre beiden Achsen von der Neigung der grösseren in dem Tangentenschnitte liegenden und der in dem Radius dahingehenden Achse abhängig sind, so lässt sich auch aus den hier zu beobachtenden Farbenerscheinungen für manche Fälle mit voller, in anderen mindestens mit annähernder Sicherheit die Lage der drei Elasticitätsachsen bestimmen.

Die Beobachtung des Querschnittes und der beiden Längsansichten bei einfach gekreuzten Nicols können uns hier nur über den mit dem Radius identischen Verlauf der im Querschnitt zur Geltung kommenden einen Elasticitätsachse, sodann über den mit den beiden anderen Ausmessungen parallelen oder zu ihnen geneigten Verlauf der beiden anderen, endlich über die Lage der Achsenebene im Querschnitt sichere Auskunft geben. Dagegen vermag sie uns über die übrigen obwaltenden Verhältnisse kaum entscheidende Daten zu liefern. Zur möglichst vollständigen Kenntniss ist daher die Beobachtung der verschiedenen Ansichten des betreffenden Objectes nach der Einschaltung eines verzögernden Plättchens angezeigt, um aus den auftretenden Additions- oder Subtractionsfarben die beziehentliche Richtung der beiden in dem entsprechenden Ellipsoiddurchschnitte zur Geltung kommenden Elasticitätsachsen zu ermitteln. Um die richtige Stellung dieses Plättchens in dem Polarisationsapparate zu erzielen, bedient man sich zweckmässig eines seinem positiven oder negativen Charakter nach bekannten mikroskopischen, zwischen den gekreuzten Nicols auf dem dunklen Sehfelde nur in Farben der ersten oder zweiten Ordnung leuchtenden, am besten prismatischen Krystalles. Als besonders geeignet dürfte namentlich das in sechsseitigen Säulencombinationen krystallisirende schwefelsaure Natron-Kali und das in quadratischen Säulencombinationen auftretende phosphorsaure Kali zu empfehlen sein, von welchen das erste positiv, das andere negativ ist. Hat man die brillanteste Färbung des Sehfeldes erreicht, was man leicht

Digitized by Google

durch Drehen des verzögernden Plättchens zu beurtheilen vermag, und bringt dann einen der erstgenannten Krystalle derart unter das Mikroskop, dass seine Achse unter + 45° orientirt ist, so hat das erstere dann die richtige, mit der grössten Elasticitätsachse unter + 45° orientirte, ein- für allemal zu bezeichnende Lage, wenn der letztere in Additionsfarben erscheint. Im anderen Falle muss das eingeschaltete Plättchen um 90° gedreht werden. Verwendet man einen Krystall der zweiten Verbindung, so ist die richtige Stellung des Gypsplättchens dann vorhanden, wenn jener mit seiner Achse unter + 45° orientirt Subtractionsfarben zeigt.

Zellen der Lagerpflanzen. — Die Zellen der Pilze und Flechten zeigen meist nur schwache Doppelbrechung, so dass sie auf dem dunklen Grunde des Gesichtsfeldes (bei gekreuzten Nicols) höchstens in den niedrigsten Farben der ersten Ordnung leuchten. Nur einzelne Arten lassen eine stärkere Einwirkung beobachten. So z. B. leuchten die Zellen des Hutes der Polyporusarten, die wirklichen und optischen Durchschnitte der Sporen von Tuber, von einzelnen Pezizen etc., ebenso die Zellen der Bartflechte Usnea sehr deutlich glänzend weiss.

Etwas entschiedener tritt die polarisirende Wirkung der hierher gehörigen — auch der schwächer brechenden — Zellen dann hervor, wenn man ein Gypsplättchen vom Roth erster Ordnung über dem Condensator des Polarisators einschaltet.

Die Sporendurchschnitte, ebenso die Querschnitte der Hutzellen von Polyporus erscheinen dann in den Quadranten + 45° orange bis gelb, in jenen — 45°[1]) violett bis dunkelblau gefärbt, während die cylindrischen Zellen des Thallus und des Fruchtorganes bei der Orientirung + 45° sowohl auf dem optischen Längsschnitt als auf der Fläche der Zellwand blaue, bei einer solchen — 45° gelbe Farben zeigen.

Es geht somit hier die grössere der je zur Geltung kommenden beiden Elasticitätsachsen in dem Querschnitte tangential, in dem Längsschnitte sowie in der Flächenansicht in der Richtung der Längsachse der Zelle dahin. Die beiden unter 0° und 90° orientirten Lagen des Längsschnittes und der Flächenansicht verhalten sich neutral und es ergiebt die Combination der in den drei genannten Theilen der Zellwände beobachteten Farbenänderungen des Gypsgrundes, dass die radiale Achse die kleinste, die längsgerichtete die grösste, die tangentiale die mittlere sei, die Achsenebene somit in dem radialen Längsschnitte liegen muss

[1]) In der nachfolgenden, wie in den vorausgegangenen Darstellungen der Polarisationserscheinungen sind die Quadranten in der H., S. 942 und G., S. 462, erörterten Weise festgestellt. Es würden sonach z. B. in Fig. 153 die von der Linie *AA* durchschnittenen Quadranten als die unter + 45°, die von der Linie *CC* durchschnittenen als die unter — 45° zu betrachten sein. Für die Orientirung über die Farbengebung der Zellwände ist bei dem Querschnitte der radiale Durchmesser, bei dem Längsschnitte und der Flächenansicht die Längsachse der Zelle maassgebend.

Digitized by Google

Fig. 150.

Fig. 150. Verhalten verschiedener Algenzellen. I, *a* Querschnitt einer verdickten Zelle von Corallina officinalis, *b* Längsansicht einer ähnlichen, minder stark verdickten Zelle, *x* die Ansatzstellen der Seitenästchen unter + 45°. II eine Zelle von Cladophora glomerata unter + 45°. III Theil einer Gliederzelle von Conferva Melagonium unter — 45°. Vergr. 1 : 50.

Digitized by Google

(Fig. 151). Ob der Charakter der positive oder negative sei, bleibt unbestimmt, da die Lage der Mittellinie aus den gegebenen Daten nicht ersichtlich ist.

Bei den Algen giebt der Querschnitt für sich das neutrale dunkle Kreuz mit den leuchtenden, unter + 45° und — 45° liegenden Quadranten (Fig. 150, I, *a*, a. v. S.), der Längsschnitt erscheint unter + oder — 45° orientirt in Weiss oder bei stärker verdickten Zellen Gelbweiss, die Fläche in Weiss (Fig. 150, I, *b*), Blaugrau, Dunkelgrau bis Schwarz (Fig. 150, II), hier und da mit neutralen Streifen gegen die Ränder (Fig. 150, III). Nur bei einzelnen sehr dickwandigen Arten, wie Corallina etc., treten auf Rand und Mitte der cylindrischen Zelle höhere Farben der ersten und zweiten Ordnung auf.

Fig. 151.

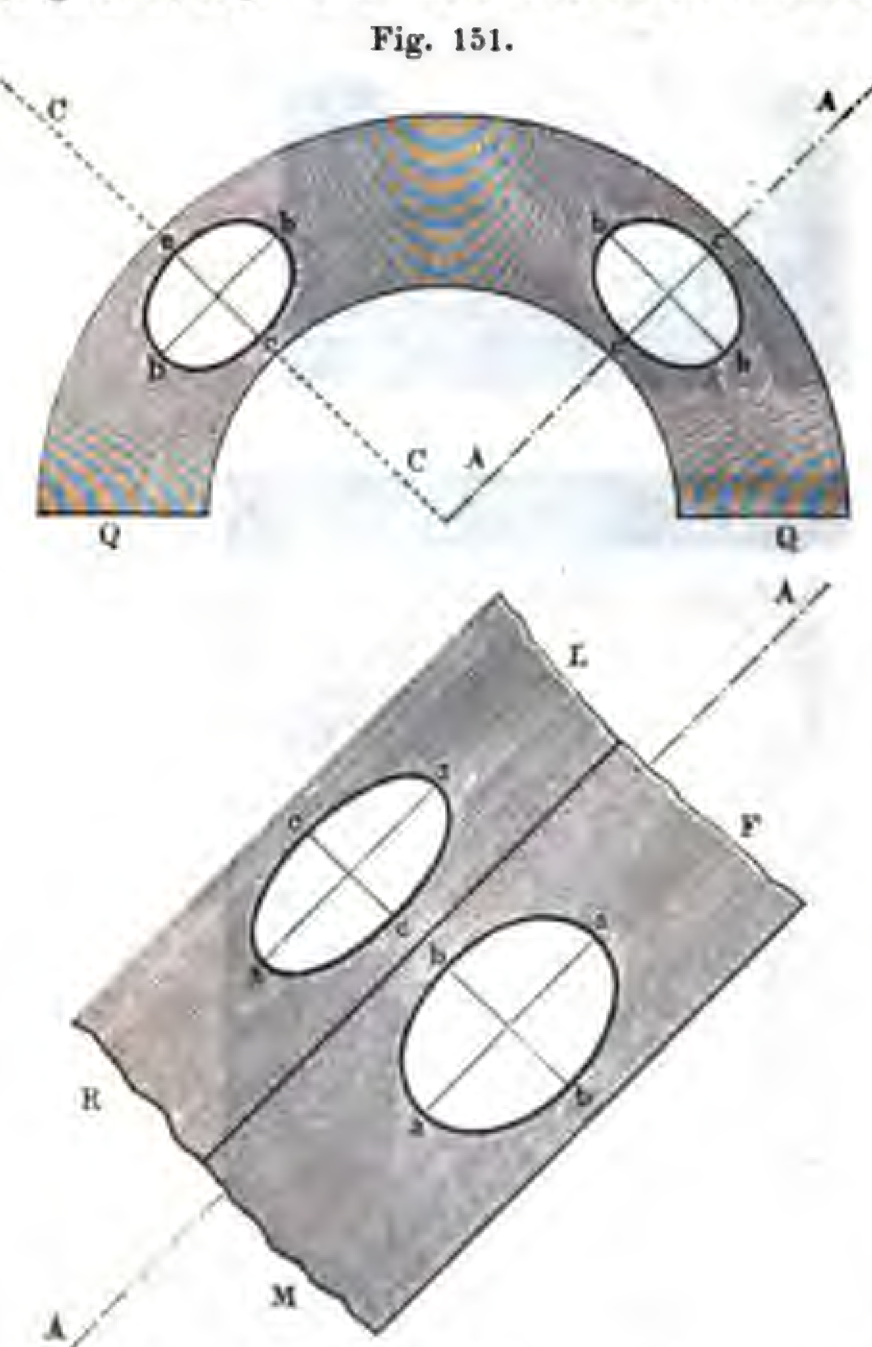


Fig. 151. Schematische Darstellung der Lage der Ellipsoiddurchschnitte (Ellipsen), welche in Querschnitt, Rand (optischem Längsschnitt) und Mitte (Fläche) der Fadenzellen von Cladophora etc. zur Geltung kommen. *R* (*L*) Rand, *M* (*F*) Mitte, *Q* Querschnitt. *AA* grösste, *CC* kleinste Elasticitätsachse des Gypsplättchens. *aa* grösste, *bb* mittlere, *cc* kleinste Elasticitätsachse der Ellipsoiddurchschnitte [1]).

In Bezug auf das optische Verhalten der betreffenden Zellen über dem eingeschalteten Gypsplättchen finden bei verschiedenen Arten etc. wesentliche Verschiedenheiten statt.

Den Zellen der Pilze und Flechten analog verhalten sich jene der Cladophora glomerata und fracta, mancher Spirogyra- und Confervaarten etc., indem der Querschnitt in den Quadranten unter + 45° Subtractionsfarben, in denen unter — 45° Additionsfarben zeigt, Längsschnitt und Flächenansicht aber wechselweise in beiden genannten Lagen die entgegengesetzten Farben hervorrufen, d. h. die rothe Farbe des Gyps-

[1]) Diese Bezeichnungsweise bleibt durch alle gleichartigen schematischen Figuren gleich.

Digitized by Google

grundes im Längsschnitt und in der Flächenansicht beziehungsweise in Blau oder Gelb umändern. Hiernach sind die Achsenverhältnisse hier ganz die gleichen, wie bei der vorhergehenden Zellengruppe.

Ein anderes Verhältniss zeigen einige andere Algen, unter diesen z. B. einzelne Arten von Oedogonium, die dünnwandigen Zellen der Spirogyren- und Ulothrixarten, Conferva Melagonium etc. Hier ändert der Querschnitt die Grundfarbe unter + 45° in Gelb, unter — 45° in Blau, der Längsschnitt beziehentlich in Blau und Gelb, die Flächenansicht in Gelb und Blau, während zwischen den Rändern und der Mitte, und zwar ziemlich nahe dieser, zwei neutrale Streifen auftreten, welche den Gypsgrund wiedergeben. Hiernach muss in dem ersteren und der letzteren die grössere Achse tangential, im zweiten axial liegen, also die kleinste Elasticitätsachse eine radiale, die grösste eine tangentiale, die mittlere eine longitudinale Stellung einnehmen und die Achsenebene in den Querschnitt fallen (Fig. 152). Manche dieser Algenfäden erscheinen unter 0° und 90° auf der Fläche neutral, andere lassen dagegen Färbungen erkennen — die indessen, sei dies in Folge der schwachen Wirkung, sei es in Folge von durch die Aufbewahrung (wie bei Conferva Melagonium etc.) hervorgerufenen Eingriffen in die Zellstoffhülle (Faltungen und dergleichen) — nicht bestimmt genug ausfallen, um ein sicheres Urtheil zu fällen.

Fig. 152.

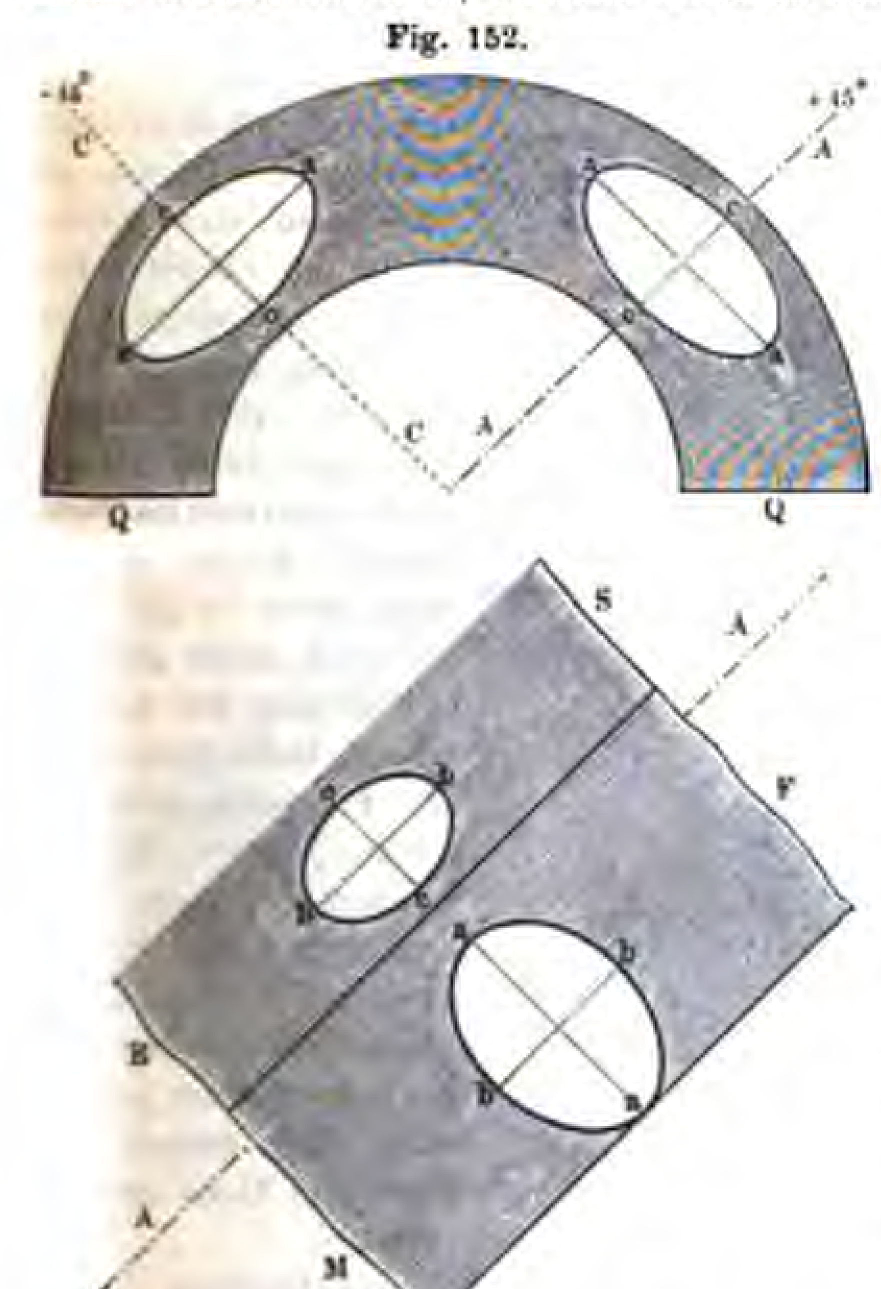


Fig. 152. Die in Querschnitt, Rand und Mitte der Zelle von Conferva Melagonium u. s. w. zur Geltung kommenden Ellipsoiddurchschnitte.

Möglich daher, dass in diesem letzteren Falle dieselben Verhältnisse der feineren Structur sich geltend machen, wie wir dies weiter unten bei den Zellen der höheren Gewächse mehrfach zu erörtern Gelegenheit haben werden.

Digitized by Google

Wird Conferva media, nachdem die anhaftenden Kalktheilchen durch Salzsäure gelöst sind, einige Zeit in kalter Kalilauge macerirt, so ändern sich in manchen Zellen des Fadens die Lichtbrechungsverhältnisse, welche ursprünglich entweder mit denen der Cladophora glomerata übereinstimmen, oder auf der Flächenansicht stellenweise wechselnde Färbungen hervorbringen, nun in merkwürdiger Weise, während zugleich die verschiedenen Streifensysteme der Zellstoffhülle deutlich hervortreten. Der Querschnitt zeigt noch die bezüglich in dem Durchmesser + 45° und — 45° liegenden gelben und blauen Quadranten, ebenso behält der optische Längsschnitt seinen additionalen Charakter bei; die Fläche aber ändert den Gypsgrund in Gelb um, während zwischen den Rändern und der Mitte zwei neutrale Streifen erscheinen, so dass also das gleiche Verhalten eintritt, wie wir es bei Conferva Melagonium beobachteten.

Fig. 153.

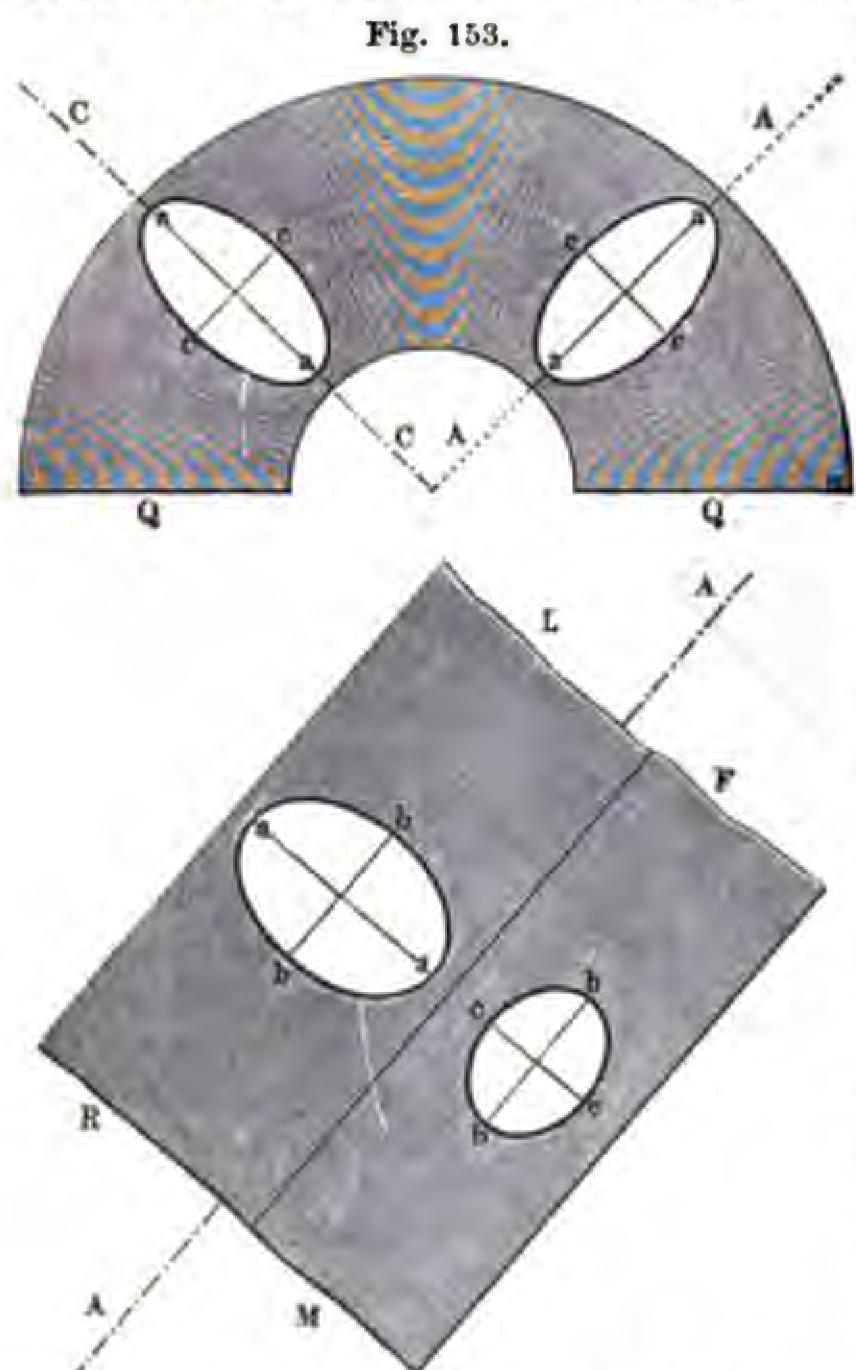


Fig. 153. Die in Querschnitt, Rand und Mitte der Caulerpazellen zur Geltung kommenden Ellipsoiddurchschnitte.

Die verschiedenen Caulerpa-Arten färben den Gypsgrund im Querschnitt unter + 45° blau, unter — 45° gelb, während unter gleicher Orientirung der Längsschnitt Gelb und Blau, die Flächenansicht — ganz junger Zweige wenigstens, denn bei den älteren verhält sich diese an verschiedenen Stellen verschieden und erscheinen diese je blau oder gelb gefärbt — Blau und Gelb hervorrufen.

Die Stellung der je zur Geltung kommenden grösseren Elasticitätsachse ist demnach im Quer- und Längsschnitt radial, in der Fläche senkrecht oder axial (Fig. 153), woraus folgt, dass bei Lage der Achsenebene im Querschnitt die radiale Achse die grösste ist. Bei älteren Theilen der Pflanze würde dies Verhältniss sich dann stellenweise für jene Theile, welche als Wurzel-

Digitized by Google

fasern bezeichnet werden, und welche — bei gleichem Verhalten des Querschnittes wie die Stengeltheile — in Längsschnitt und Flächenansicht unter + 45° das Roth des Gypsplättchens auf Orange bis Gelb und resp. Weissgelb erniedrigen, unter — 45° auf Blau erhöhen, so umgestalten, dass bei gleicher Stellung der grössten Achse entweder die Achsenebene in den Radialschnitt fiele, also die mittlere Achse tangential, die kleinste axial zu liegen käme, oder — was dadurch wahrscheinlich wird, dass die betreffenden Pflanzentheile unter 0° und 90° nicht neutral werden, sondern mehr oder minder stark ausgesprochene wechselnde Farbentöne zeigen — dass die mittlere Elasticitätsachse aus der axialen Lage in eine um mehr als 45° zur Zellenachse geneigte überginge (Fig. 154).

Fig. 154.

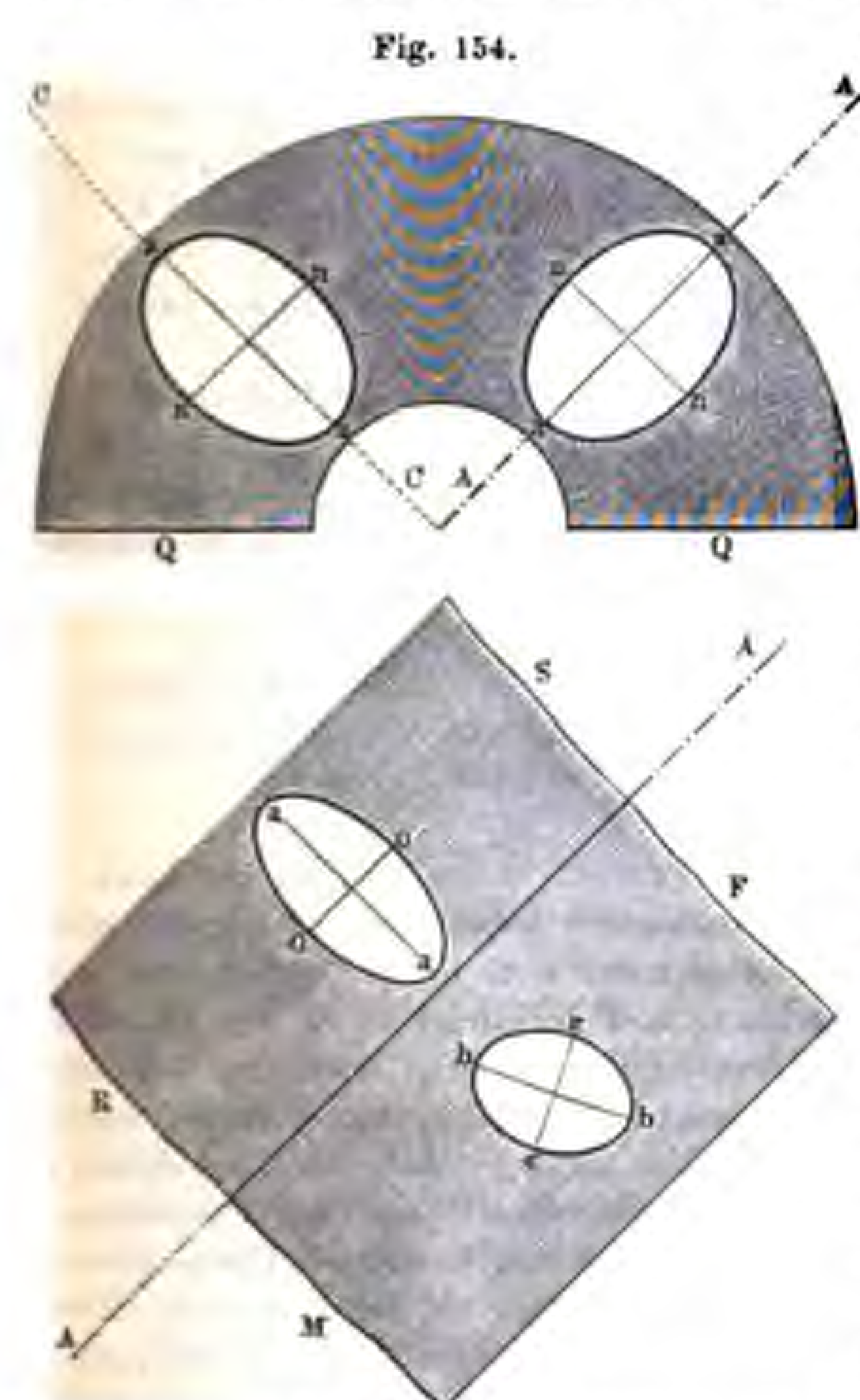


Fig. 154. Ellipsoidalschnitte älterer Caulerpatheile. *nn* und *oo* die aus der Neigung der mittleren und kleinsten Achse in Quer- und Längsschnitt resultirenden Achsen der Ellipsoidalschnitte.

Die Zellen der Fucoideen (Fucus, Laminaria) erniedrigen auf dem Querschnitte in den Quadranten + 45° die Farbe des Gypsgrundes auf Gelb, während sie dieselbe in jenen — 45° auf Blau erhöhen. Der optische Längsschnitt erscheint unter + 45° orientirt, lebhaft dunkel- bis hellblau, die Flächenansicht schwach orangefarben, ohne dass mit voller Sicherheit zu entscheiden wäre, ob zwischen der Additionsfarbe des ersteren und der Subtractionsfarbe des letzteren neutrale Streifen auftreten.

Der Querschnitt von Corallina officinalis, mag er von stark verdickten oder den noch kaum verdickten Zellen genommen sein, zeigt immer unter + 45° Subtractions-, unter — 45° Additionsfarben, welche je nach der Dicke von Orange bis Weisslich und von Dunkelblau bis

Digitized by Google

Grünlichblau wechseln. Rand und Mitte der cylindrischen Zellen zeigen für verschiedene Individuen verschiedenes Verhalten. So befinden sich bei manchen der von dem Mittelstamme ausgehenden wenig verdickten Aestchen der optische Längsschnitt sowohl als die Flächenansicht unter + 45° in Addition, während bei anderen nur der erstere den Gypsgrund in der Farbe erhöht, die letztere aber erniedrigt, und die beiden neutralen Streifen zwischen Rand und Mitte auftreten. In gleicher Weise wie die Astzellen verhalten sich die Stammzellen an allen den Stellen, welche von den Ansatzstellen jener frei sind. Es steht somit hier im Querschnitt die grössere der beiden Elasticitätsachsen tangential, die kleinere radial, während im ersteren Falle die grössere Achse in Rand- und Flächenansicht longitudinal oder axial gestellt ist, im anderen diese Stellung nur der Randansicht zukommt, in der Flächenansicht aber in die tangentiale übergeht.

Hieraus folgt, da sich auch die glatten Wandstellen unter 0° und 90° als neutral erweisen, dass für beide Fälle die kleinste Elasticitätsachse radial gerichtet ist, im ersteren die grösste Elasticitätsachse axial, die mittlere tangential dahingeht und die Achsenebene im Radialschnitt liegt, im anderen aber, bei tangentialer Lage der grössten und axialen der mittleren Achse, die Achsenebene in den Querschnitt fällt.

Die Zellen des Stengels von Polysiphonia complanata verhalten sich ganz so wie die Fadenzellen der Cladophora, und ebenso lassen mehrere Formen der Ceramiaceen ein gleiches Verhalten beobachten.

Zellen der Moose. — Das Parenchym des Stengels der Laub- und Lebermoose zeigt, soweit ich beobachtet habe, durchgängig das gleiche Verhalten. Der Querschnitt erhöht das Roth des Gypsplättchens in den Quadranten von — 45° zu Blau, und erniedrigt es in den Quadranten von + 45° zu Gelb. Der Längsschnitt erscheint unter der Orientirung von + 45° blau, die Flächenansicht schwach orange gefärbt, während bei einer Drehung um 90 Grad, also unter — 45°, eine Umkehrung der Farbenverhältnisse eintritt. Der Querschnitt und die Flächenansicht haben sonach die grössere darin zur Geltung kommende Elasticitätsachse tangential, der Längsschnitt axial oder longitudinal gerichtet. Hieraus dürfte wohl, da die grösste Elasticitätsachse jedenfalls tangential gerichtet ist, die Achsenebene in den Querschnitt fallen.

Parenchym der Gefässkryptogamen und Phanerogamen. — Das gestreckte Parenchym des Stengels der Gefässpflanzen zeigt für den Querschnitt ein völlig übereinstimmendes Verhalten. Dieser besitzt für sich das neutrale Kreuz unter 0° und 90° (Fig. 155, I), und auf dem Gypsgrunde beobachtet man die vier gefärbten Quadranten, von denen die unter + 45° sich in Subtraction, die unter — 45° in Addition befinden. Für die Längsansichten machen sich dagegen verschiedene Abweichungen in der optischen Wirkungsweise geltend.

Digitized by Google

Die gestreckten dünnwandigen Parenchymzellen des Stengels von Equisetum, der Wedel von Pteris aquilina und anderen einheimischen Farnkräutern, von Cycas, Dion, Ceratozamia (Blattstiel), von Asparagus, Pothos, Anthurium, Arundo donax, Aloë (Blüthenschaft im inneren Theile) u. s. w., die unverholzten Collenchymzellen, die Zellen des ge-

Fig. 155.

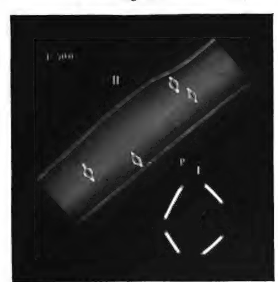


Fig. 155. I Querschnitt einer Parenchymzelle von Equisetum arvense. II Theil einer ähnlichen isolirten Zelle unter + 45°. *p* spaltenförmige, horizontal gestellte Poren. Vergr. 1 : 500.

streckten Markparenchyms vieler Dikotyledonen zeigen, soweit sie horizontal-spaltenförmige Poren oder auch glatte Wände besitzen, folgendes Verhalten.

Der wirkliche, oder bei macerirten Zellen der optische Längsschnitt resp. der Cylinderrand erhöht den Gypsgrund zu Blau, die Flächenansicht oder die Mitte des Cylinders erniedrigt ihn zu Gelb, während bei prismatischen Zellen die geneigten Scheidewände bald in Addition, bald in Subtraction, bald neutral erscheinen. Bei cylindrischen Zellen treten ausserdem in dem dunklen Gesichtsfelde, wie über dem Gypsplättchen zwischen Rand und Mitte zwei neutrale Streifen auf (Fig. 155, II), welche namentlich bei nicht zu schwach verdickten Exemplaren, die auf der Cylinderfläche stärker ausgeprägten Subtractionsfarben zeigen, sehr deutlich zu beobachten sind. Die Stellungen unter 0° und 90° lassen die Zellen neutral erscheinen.

Diese Farbenerscheinungen bedingen für die grösseren der je zur Geltung kommenden Elasticitätsachsen im Querschnitt eine tangentiale, im Längsschnitt oder in der Cylinderwand eine axiale, in der Fläche oder

Digitized by Google

der Cylindermitte eine tangentiale Stellung (Fig. 156), woraus hervorgeht, dass bei tangentialer Lage der grössten Elasticitätsachse die Achsenebene

Fig. 156.

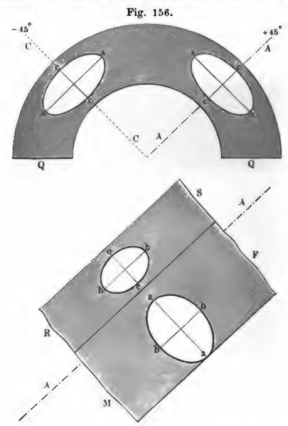


Fig. 156. Die in Querschnitt, Rand und Mitte der dünnwandigen gestreckten Parenchymzellen mit horizontal gestellten Porenspalten zur Geltung kommenden Ellipsoidenschnitte.

von dem Querschnitte aufgenommen wird, da für diese Zellenform eine schiefe Lage der axialen und tangentialen Achsen nicht angezeigt erscheint. Der positive oder negative Charakter bleibt unbestimmt, da nicht zu entscheiden ist, ob die tangentiale (grösste) oder die radiale (kleinste) Elasticitätsachse als Mittellinie angenommen werden muss.

Die Zellen des Holzparenchyms mancher Laubhölzer, ferner die gestreckten Parenchymzellen, z. B. des Markes dieser und anderer Pflanzen (Equisetum u. s. w.), denen eine mässige, die Markzellen von Clematis, denen eine ziemlich stark entwickelte secundäre Wandverdickung eigen ist, besitzen etwas in die Breite gezogene Poren, deren Längendurchmesser in der oberen Wandfläche isolirter Zellen in einer wenig nach rechts, in der unteren in einer ebenso nach links ansteigenden Spirale liegt, also mit der Zellenachse einen zwischen 45° und einem Rechten

Digitized by Google

liegenden Winkel bildet. Diese Structur lässt auf eine spiralige Anordnung der Molecüle (im physikalischen Sinne, — Micellen, Nägeli's, Tagmen, Pfeffer's —) der betreffenden Verdickungsschichten schliessen, durch welche voraussichtlich die Stellung der in dem Tangentialschnitte liegenden Elasticitätsachsen alterirt werden muss, indem diese, dem Verlaufe der Spirale folgend, eine zur Zellenachse geneigte Stellung annehmen (Fig. 158, a. f. S.). Das optische Verhalten bestätigt diese Voraussetzung vollständig. Isolirte Zellen, welche sich sonst denen der vorhin betrachteten Gruppe ganz gleich verhalten und namentlich sehr deutliche Streifen gegen die Ränder zeigen (Fig. 157), erscheinen auf der Fläche nämlich in keiner Stellung

Fig. 157.

Fig. 157. Theilstück einer der verdickten Markparenchymzellen von Clematis vitalba mit zur Zellenachse geneigten, in einer rechtswandigen Spirale ansteigenden, spaltenförmigen Porencanälen *P*. Vergr. 1 : 500.

neutral. Mit der Längsachse unter + 45° orientirt, zeigen die Längswände im optischen Durchschnitt Additions-, die Flächen Subtractionsfarben (je nach der Wanddicke Orange bis Gelblichweiss), unter — 45° die Längswände Subtractions-, die Flächen Additionsfarben (Violett bis Blaugrün), während letztere, wenn wieder mit der Längsachse unter 0° und dann unter 90° orientirt wird, im ersten Falle den Gypsgrund auf Blauviolett bis Indigo erhöhen, im anderen zu Röthlichorange bis Orange erniedrigen, woraus hervorgeht, dass die grösseren Achsen der in der oberen und unteren Wandfläche zur Geltung kommenden Elasticitätsellipsen unter einem über 45° hinausgehenden, manchmal 90° nahe kommenden Winkel zu jener geneigt sind (Fig. 158, a. f. S.). Auf Längsschnitten tritt hier in dem Verhalten solcher Zellenschnitte, wo nur die aneinander grenzenden Scheidewände je zweier Zellen erhalten, die oberen und unteren Wandflächen dagegen weggeschnitten sind, und somit in den

Digitized by Google

beiden vorliegenden Wandflächen von oben nach unten die entgegengesetzte Richtung der Molecüle auftritt, wie im vorigen Falle, insofern ein Wechsel ein, als unter der oben angenommenen Orientirung in den Stellungen unter 0° und 90° auf den Flächenansichten gerade der entgegengesetzte Farbencharakter hervorgerufen wird, während in den Quadranten + 45° und — 45° das frühere Verhalten bestehen bleibt. Diese auffällige Erscheinung erklärt sich sofort, wenn man die Aufeinanderfolge

Fig. 158.

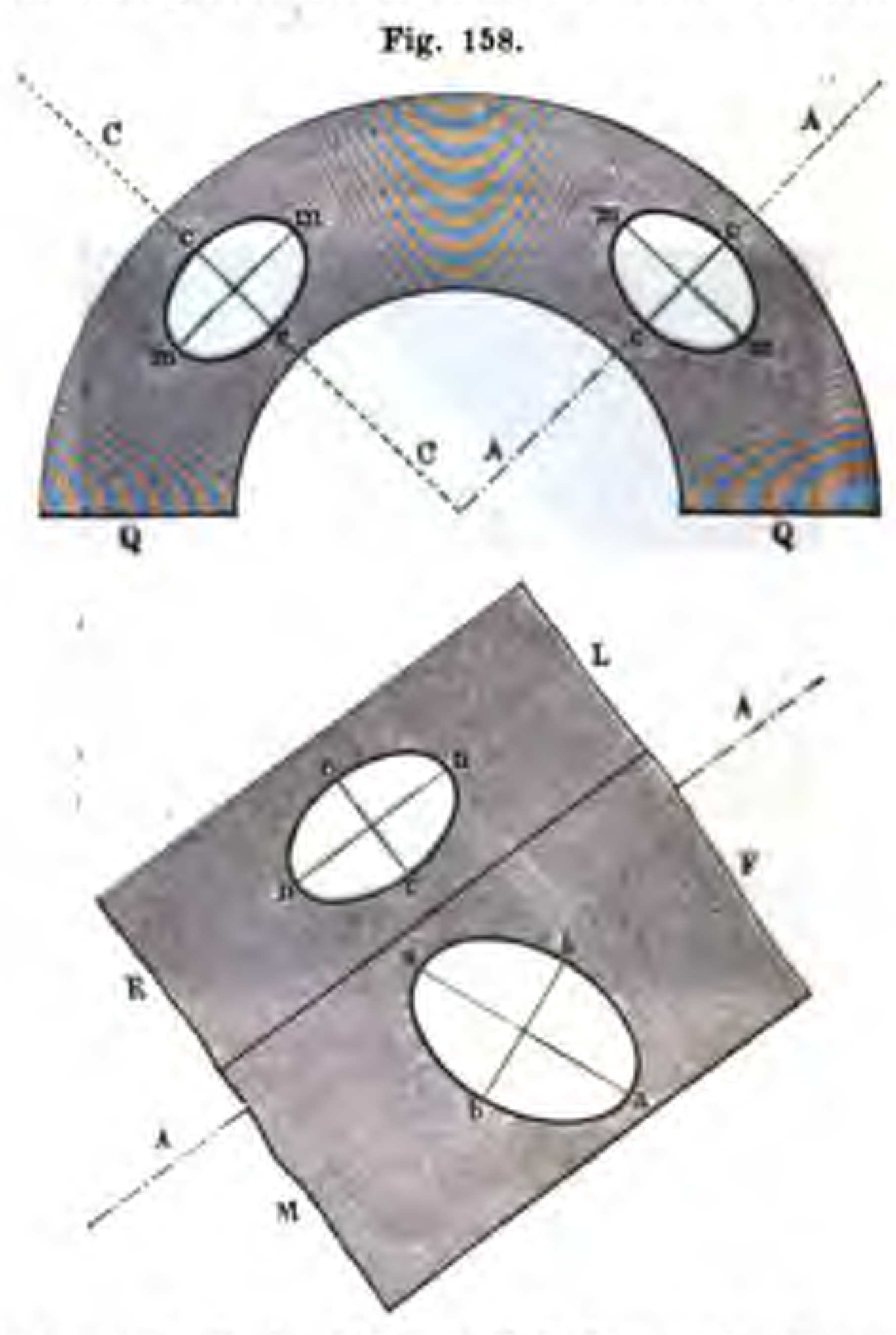


Fig. 158. Die in Querschnitt, Rand und Mitte der Markzellen von Clematis u. s. w. zur Geltung kommenden Ellipsoiddurchschnitte. *m m* und *n n* die aus der Neigung des Elasticitätsellipsoides resultirenden respectiven grössten und mittleren Achsen.

der sich in ihrer Wirkung verbindenden Elasticitätsachsen berücksichtigt. Im ersteren Falle steigt die grössere Achse der unteren Zellfläche nach links, die der oberen nach rechts an, während dies Verhältniss im anderen Falle eine Umkehrung erleidet. Wir haben dort bei der Orientirung der Zelle resp. der Zellenachse unter 0° die orthogonale Alternativ-, unter 90° die Consecutivstellung (Fig. 159, I u. II), hier dagegen unter 0° die Consecutiv- (Fig. 159, III), unter 90° die Alternativ-

Digitized by Google

stellung der grösseren Achsen von Gypsplättchen, von unterer und oberer Zellenfläche, während die durch die Schnittpunkte der beiden Elasticitätsellipsen gehende, den Winkel der beiden letzteren halbirende

Fig. 159.

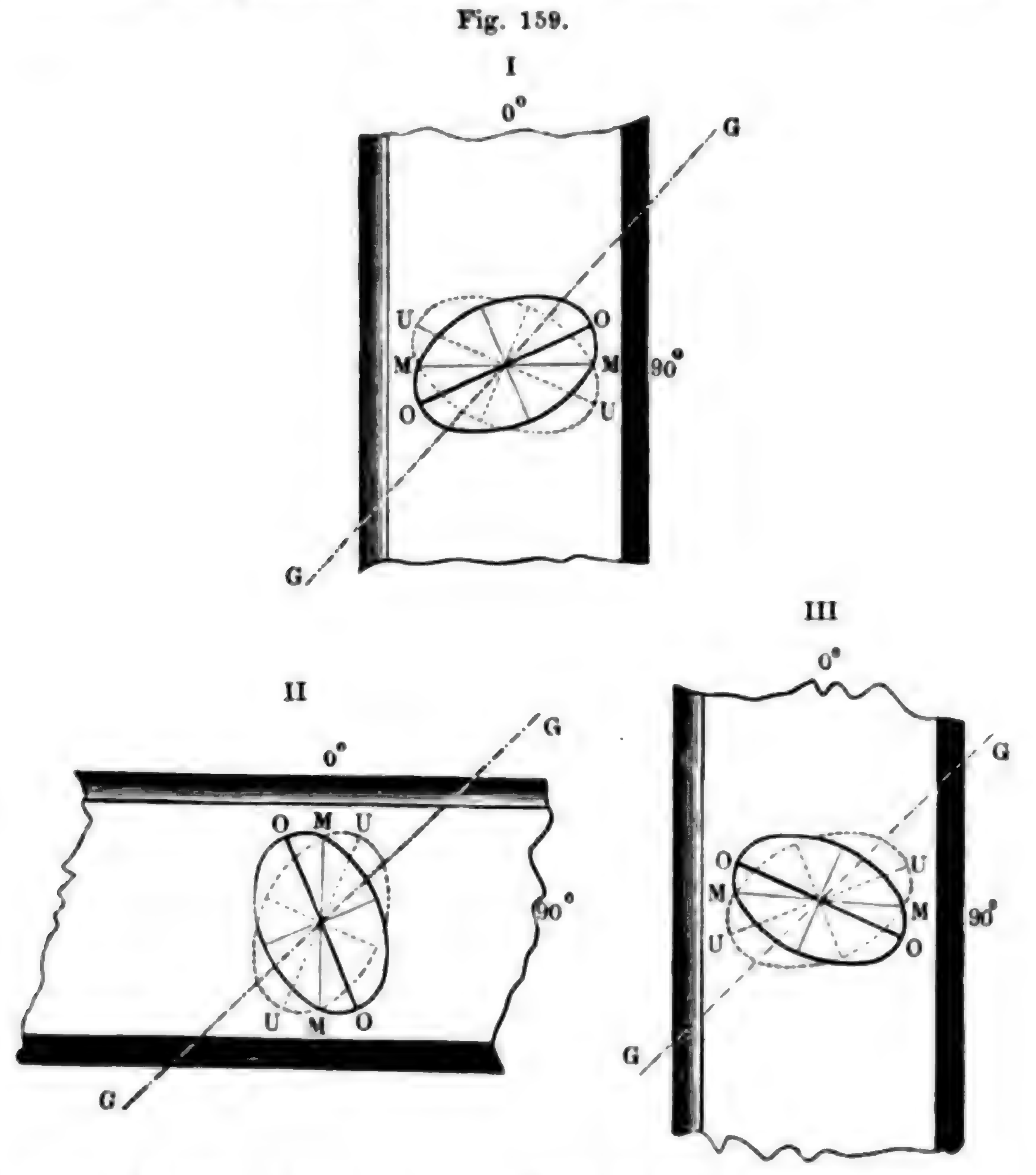


Fig. 159. I die beiden auf oberer und unterer Wandmitte zur Geltung kommenden Ellipsoidquerschnitte der unter 0° orientirten Zelle von Clematis u. s. w. *MM* Mittellinie, *UU* untere, *OO* obere grösste Elasticitätsachse, *GG* grösste Achse des Gypsplättchens. II gleiche Darstellung bei einer Orientirung der Zelle unter 90°. III gleiche Darstellung für die beiden Wände zweier an einander grenzender Zellen bei Orientirung unter 0°.

Mittellinie resp. unter 0° und 90° dahingeht, also einmal senkrecht, dann parallel zur Zellenachse gerichtet ist [1]).

---

[1]) Unter Consecutivstellung hat man nach Nägeli jene Anordnung der drei gleichwerthigen Elasticitätsachsen von der Prüfungsplatte *G* und den beiden über einander liegenden Versuchsplättchen *U* (das untere) und *O* (das obere) zu verstehen, bei der jene von unten nach oben wendeltreppenartig, d. h.

Digitized by Google

Ein von dem eben geschilderten ganz verschiedenes Verhalten macht sich für die stärker verdickten, verholzten Parenchymzellen aus der Rinde der Equiseten und der Farnkräuter, dann für jene, welche bei vielen Monokotyledonen die Rinde von dem Inneren des Stengels scheiden und sich z. B. in dem Blüthenschafte von Aloë sehr schön in langgestreckter Form ausgeprägt finden, bemerkbar. Bei allen diesen, steil ansteigende Sporenspalten besitzenden Zellen reagirt der Querschnitt zwar ganz gleich gegen unser Gypsplättchen, wie bei der vorigen Gruppe; der optische Längsschnitt (resp. der Rand) und die Flächenansicht (resp. die Mitte des Cylinders) aber, welche, für sich beobachtet, ohne neutrale Streifen (Fig. 162, III, S. 251) und in keiner Stellung neutral erscheinen, befinden sich bei dem Mangel der neutralen Streifen unter + 45° oder — 45° orientirt beide in Addition oder Subtraction. Bei den verhältnissmässig

in der Reihenfolge *G*, *U*, *O*, auf einander folgen (Fig. 160, I). **Alternativstellung** dagegen bezeichnet jene Lage, wo die drei in Betracht kommenden gleichwerthigen Achsen im Zickzack, also in der Reihenfolge *G*, *O*, *U*, auf einander folgen (Fig. 160, II). Dass der Consecutivstellung bei Orientirung unter 0° bei unveränderter Lage des Plattenpaares, bei der unter 90° die Alternativstellung folgen muss und umgekehrt, dass die erstere, möge sie unter 0° oder

Fig. 160.

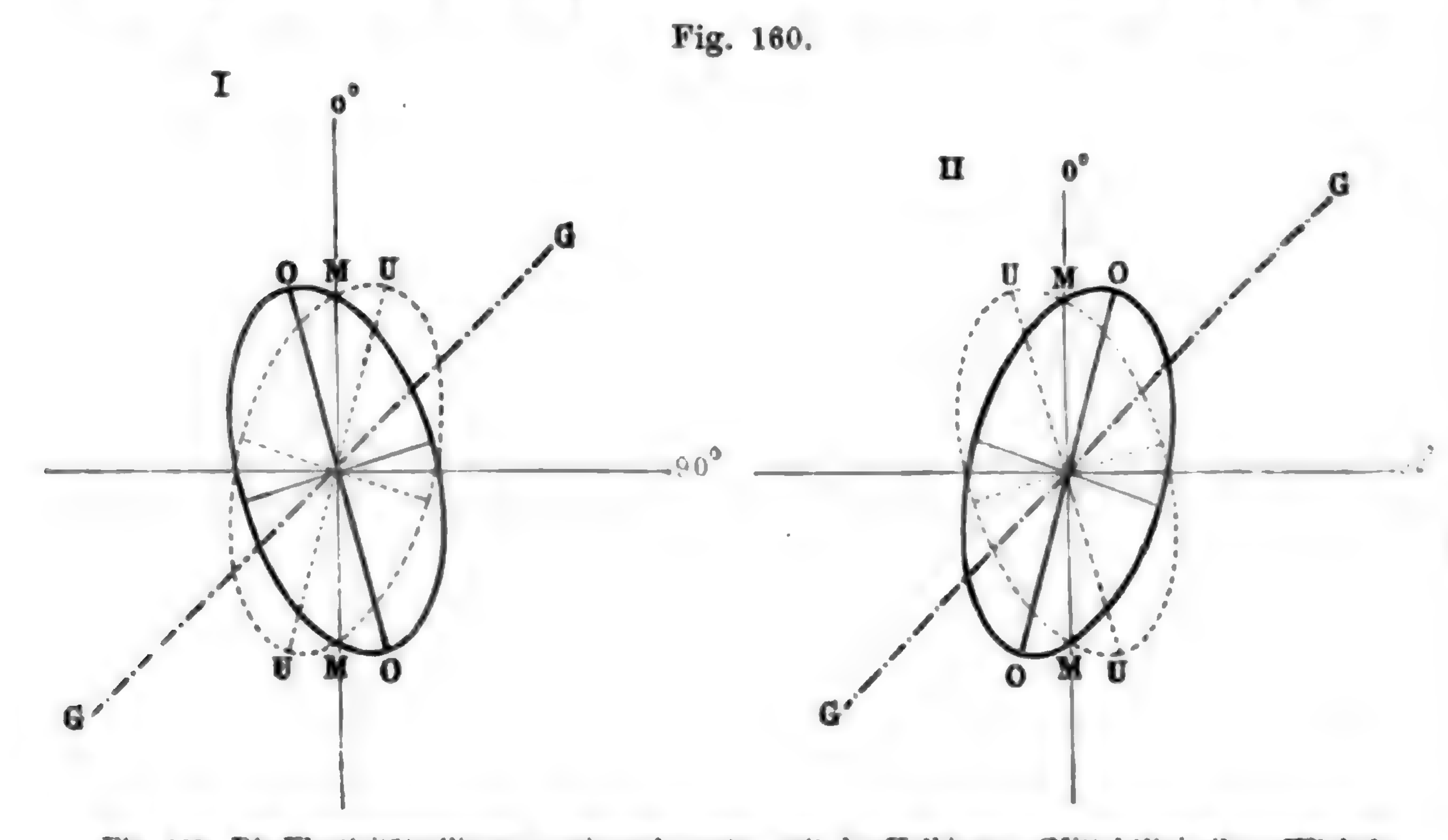


Fig. 160. Die Elasticitätsellipsen zweier gekreuzter, mit der Halbirungs-(Mittel-)linie ihres Winkels unter 0° orientirter Gypsplättchen gleicher Farbe über dem feststehenden Gypsplättchen. I in **Consecutiv-**, II in **Alternativstellung**. *GG* grösste Elasticitätsachse des feststehenden Gypsplättchens, *UU* und *OO* die gleichen Achsen des unteren und oberen der gekreuzten Plättchen, *MM* deren ihren Winkel halbirende Mittellinie.

unter 90° eintreten, eine Erhöhung, die letztere eine Erniedrigung des Farbencharakters bedingt, ist einleuchtend und kann leicht durch den Versuch erwiesen werden, indem man in den Versuchsplättchen die grössere Elasticitätsachse erst in dem oberen, dann in dem unteren eine von der Mittellinie nach links oder rechts abweichende Lage einnehmen lässt.

Digitized by Google

dünnwandigen Zellen der Equiseten- und Farnkräuterrinde, z. B. der verholzten faserartigen Zellen von Pteris etc. und der Rindenscheide von Aloë tritt auf dem optischen Längsschnitte Violett bis Roth, auf der Mitte Blau bis Blaugrün zweiter Ordnung auf, während das Steigen und Sinken der Farben auf dem Cylindermantel der stärker verdickten Zellen in schmäleren und breiteren farbigen Streifen in der Reihe der Newton'schen Scala erfolgt. Da hier die Stellung der Poren und die deutlich von diesen ausgehenden streifenartigen Unterbrechungen der secundären Verdickungsschichten eine spiralige Ablagerung dieser letzteren bekunden, so dürfte das beobachtete optische Verhalten wohl einzig durch die secundäre Verdickung hervorgerufen sein, deren optische Wirkung vermöge ihrer Dicke jene der primären Wand überwiegt, und es würden in ihr bei radialer Stellung der kleinsten Elasticitätsachse die beiden anderen, von denen die grösste parallel der nach rechts aufsteigenden Spirale der Streifen dahingeht, die Zellenachse unter einem schiefen Winkel schneiden, welcher jedenfalls unter 45° bliebe. Für die erstere Voraussetzung scheint mir ein Beweis darin zu liegen, dass auf solchen Längsschnitten, wo zufällig von einer und der anderen Zelle nur die primäre Wandung stehen geblieben ist, während die Verdickungsschichten durch den Schnitt abgenommen wurden, ein optisches Verhalten der betreffenden Zellen oder Zellenstücke eintritt, welches mit jenem der wenig verdickten, horizontal gestellte Sporenspalten besitzenden Parenchymzellen übereinstimmt. Um die Richtigkeit der zweiten zu erweisen, dient ausser dem Fehlen der neutralen Streifen zwischen den Rändern und der Mitte des cylindrischen Objectes die Beobachtung der betreffenden Zellen bei einer Orientirung mit der Längsachse unter 0° und 90°. In ersterer Stellung erscheint die Zellenfläche unter orangenen bis gelben, in der letzteren

Fig. 161.

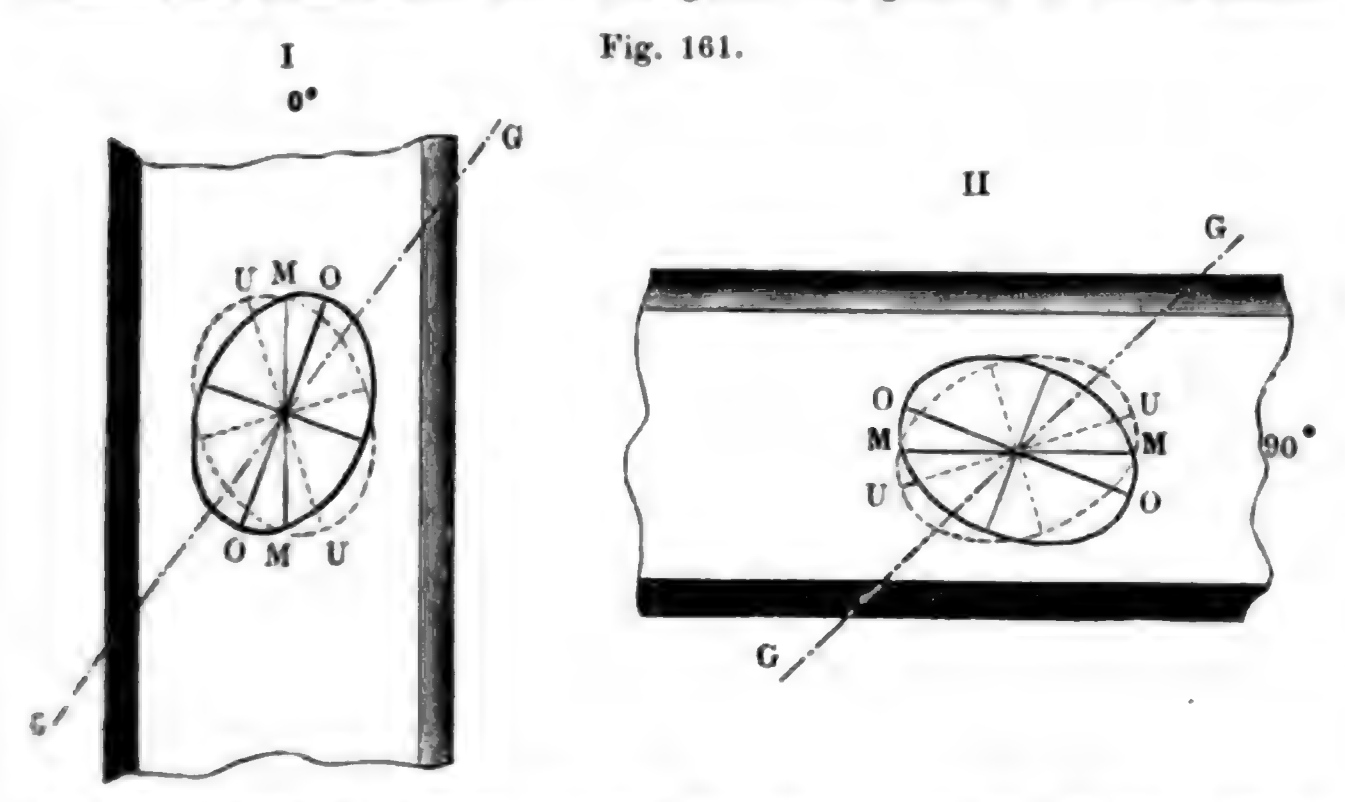


Fig. 161. I Alternativ-, II Consecutivstellung der Ellipsoiddurchschnitte für die stärker verdickten Parenchymzellen von Aloë u. s. w., unter 0° und 90°. Bezeichnung wie in Fig. 161.

Digitized by Google

unter violetten bis blauen Farbentönen. Jene ist also, bei mit der Zellenachse paralleler Richtung der Mittellinie (im oben gebrauchten Sinne), die Alternativ-, diese die Consecutivstellung (Fig. 161, I u. II, a. v. S.), was im Vergleiche mit der Additions- und Subtractionslage für die in der oberen Zellenfläche zur Geltung kommenden grössten Elasticitätsachsen eine unter 45° bleibende Neigung nach rechts, für die in der unteren wirksame eine gleiche Neigung nach links zu der Zellenachse bedingt.

Fig. 162.

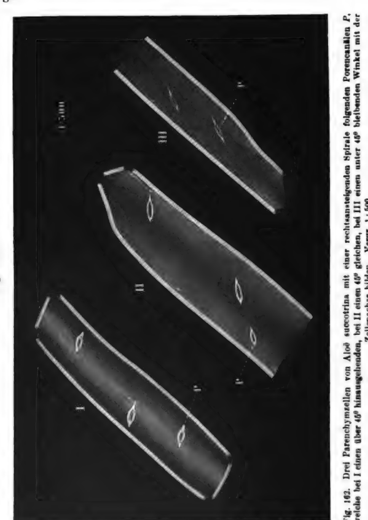


Fig. 162. Drei Parenchymzellen von Aloë succotrina mit einer rechtsansteigenden Spirale folgenden Porencanälen P, welche bei I einen über 45° hinausgehenden, bei II einen 45° gleichen, bei III einen unter 45° bleibenden Winkel mit der Zellenachse bilden. Vergr. 1 : 500.

Wie bei den betrachteten Parenchymzellen überall eine der spiraligen Anordnung der secundären Verdickungsschichten folgende Neigung

Digitized by Google

der im Tangentenschnitt liegenden Elasticitätsachsen wirklich stattfindet, beweisen aufs Klarste die gerade bei Aloë und noch mehr bei dem verholzten Rindenparenchym tropischer Farnkräuter, in denen die spiralige

Fig. 163.

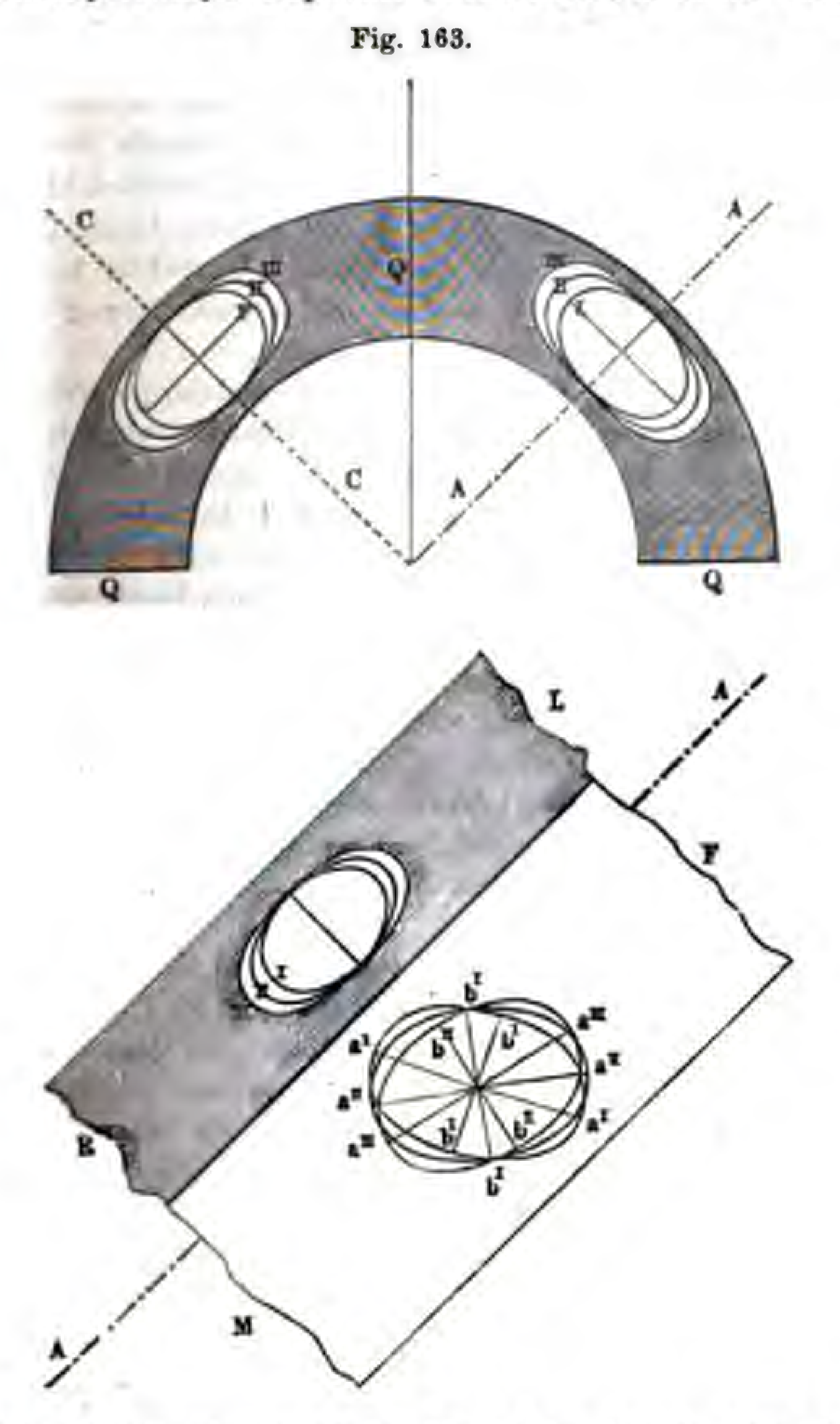


Fig 163. Wechsel der Ellipsoidendurchschnitte, wie er in den gestreckten Zellen des Blüthenschaftes von Aloë in Querschnitt, Rand und Mitte bei verschiedener Neigung der grösseren tangentialen Elasticitätsachse zur Zellenachse auftritt. Die Coëfficienten I, II, III bezeichnen die den im Texte erwähnten verschiedenen Neigungen entsprechenden Ellipsoiddurchschnitte.

Anordnung der Verdickungsschichten weit deutlicher ausgeprägt ist, unschwer aufzufindenden Uebergänge von Zellen mit wenig ansteigenden spaltenförmigen Poren zu solchen mit stufenweise steiler ansteigenden, und das in gleichem Verhältnisse eintretende verschiedene optische Ver-

Digitized by Google

halten. Während bei den einen Zellen die Mitte der Fläche auf dem dunklen Grunde ziemlich stark leuchtet, auf dem Gypsgrunde entschieden in Subtraction ist und an den Rändern zwei neutrale Streifen auftreten (Fig. 162, I, S. 250), zeigt sie sich bei anderen weniger entschieden erniedrigend, bei noch anderen — mit etwa um 45° gegen die Zellenachse geneigten Poren — neutral (Fig. 162, II) und nimmt dann in den stärker verdickten, welche auf dem dunklen Grunde über die ganze Fläche leuchten (Fig. 162, III), mit steigender Entschiedenheit die oben geschilderte Färbung an. Schon bei einfacher Betrachtung der einzelnen Zellenindividuen lässt sich hier der optische Charakter und die in der Fig. 163 (a. v. S.) dargestellte Lagen- und Formänderung der verschiedenen Ellipsoiddurchschnitte vorausbestimmen.

Das isodiametrische, dünnwandige, unverholzte, polyëdrische Parenchym der in der Ueberschrift genannten Pflanzen verhält sich analog dem zartwandigen gestreckten Parenchym, indem die Durchschnittsansichten der Wände, je nachdem sie unter + 45° oder — 45° orientirt sind, auf dem Gypsplättchen sich in Addition oder in Subtraction befinden. Die horizontale Fläche zeigt häufig keinen bestimmten Charakter, indem stellenweise Additions- und Subtractionsfarben mit einander wechseln; die geneigten Seitenwände lassen einen ähnlichen Wechsel beobachten, der von ihrer Neigung zur Horizontalebene abhängig erscheint. Bei den dickwandigen, verholzten Zellen des Markes und der Rinde (Steinzellen, Brachysklereïden) ist die kleinste Elasticitätsachse auf allen Schnittrichtungen radial gerichtet, und zeichnen sich die dichteren Wandschichten gegenüber den weniger dichten stets durch ihre stärkere Wirkung aus.

Die Zellen des Sameneiweisses, soweit sie in ihren Ausmaassen hinreichend verschieden sind, namentlich desjenigen der Palmen, zeigen über dem rothen Gypsgrunde folgendes Verhalten. Im Querschnitt befinden sich die Wände unter + 45° in Subtraction, unter — 45° in Addition. Wird der Längsschnitt mit der Längsachse der Zelle unter + 45° orientirt, so befinden sich die Längswände in Addition, die Flächen und die Querwände in Subtraction, und es kehren bei umgekehrter Orientirung die Farben in den bezüglichen Wandtheilen um. In den orthogonalen Stellungen befinden sich unter 0° die Längswände in der Alternativ-, die Flächen in der Consecutivstellung, unter 90° die ersteren in der Consecutiv-, die anderen in der Alternativstellung. Hieraus ergiebt sich, dass die im Radius zur Geltung kommende Elasticitätsachse die kleinste ist, von den in der Tangentialebene zur Geltung kommenden die grösste einer links, die mittlere einer rechts aufsteigenden Spirale folgt, keine der Achsen aber senkrecht zu- oder gleichlaufend mit den Verdickungsschichten dahingeht.

Ein Rückblick auf das optische Verhalten der Parenchymzellen lässt zwar mancherlei Verschiedenheiten erkennen, dennoch aber macht sich, wenn wir von den Zellen der Caulerpa-Arten und des hornigen Samen-

Digitized by Google

eiweisses der Palmen u. a. absehen, eine gewisse Uebereinstimmung zwischen ihnen und der feineren Structur der Zellwand, beziehentlich der secundären Verdickung bemerkbar, welche in folgenden Sätzen ihren Ausdruck findet:

1. Die kleinste Elasticitätsachse ist stets radial, also senkrecht zur Membranfläche, oder zur Schichtung dieser (Conferva, Cladophora, Farnkräuter, Clematis u. s. w.) gerichtet.
2. Die grösste und mittlere Elasticitätsachse liegen in einem Tangentenschnitte.
3. Die grösste Elasticitätsachse kann von einer mit der Zellenachse parallelen Stellung aus, wo die Achsenebene in den Diametralschnitt fällt (Cladophora), jede beliebige Neigung zu dieser annehmen (Aloë etc.), bis sie senkrecht auf ihr steht (Oedogonium(?), sehr dünnwandiges Parenchym) und die Achsenebene vom Querschnitte aufgenommen wird.
4. Wo sich in der Wandfläche eine regelmässige Anordnung der Zellwandschichten beobachten oder vermuthen lässt, d. h. wo diese mit Unterbrechungen in der Fläche, also in Form von Streifen, Bändern, abgelagert sind, da folgt die grösste Elasticitätsachse stets der Längsrichtung (Cladophora) dieser oder der Spirale (Aloë, Clematis u. s. w.), in welcher sie verlaufen, während die mittlere senkrecht darauf steht.

Meyen: Neues System der Pflanzenphysiologie. Bd. I.
Schleiden: Grundzüge der wissenschaftlichen Botanik. 3. Aufl., Bd. I.
H. v. Mohl: Anatomie und Physiologie der vegetabilischen Zelle. 1812.
Th. Hartig: Vollständige Naturgeschichte der forstwirthschaftlichen Culturpflanzen. 1851.
Unger: Anatomie und Physiologie der Pflanzen.
Schacht: Die Pflanzenzelle und Lehrbuch der Anatomie und Physiologie. Bd. I.
Jul. Sachs: Lehrbuch der Botanik. 1. bis 4. Aufl.
De Bary: Vergleichende Anatomie der Vegetationsorgane der Phanerogamen und Farne.
Zimmermann: Botanische Mikrotechnik. 1892.
(Die Literatur über das optische Verhalten siehe S. 122.)

II. Faserzellen.

Das Vorkommen der Faserzellen (Sklerenchymfasern, De Bary, Stereïden d. Aut.) ist beinahe völlig auf das Gefässbündel beschränkt und erscheinen sie daselbst sowohl in dem Holz- als in dem Basttheile. Ausserdem trifft man dieselben, und zwar als festigende Elemente, auch

in anderen Geweben, namentlich in Mark und Rinde, entweder vereinzelt oder in Gestalt von Fasersträngen eingestreut.

Fig. 164.

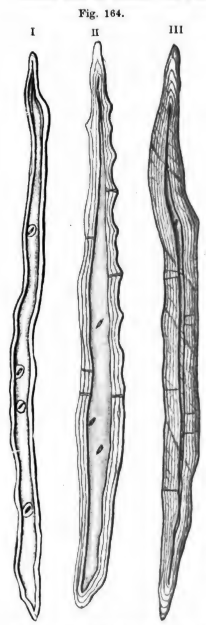


Fig. 164. Verschiedene Faserzellen; I aus dem Holze von Picea vulgaris, II aus dem Baste einer Palme (Sabal umbraculifera), III aus dem Baste von Larix europaea. Vergr. 1 : 125.

Fig. 165. Fig. 166.

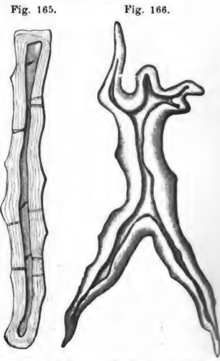


Fig. 165. Eine Bastzelle aus der Wurzel von Euphorbia Esula. Vergr. 1 : 370. — Fig. 166. Verzweigte Bastzelle von Larix europaea. Vergr. 1 : 200.

Gestalt der Faserzellen. — Die Faserzellen zeichnen sich auch vor den langgestreckten Parenchymzellen in der Regel dadurch aus, dass ihre Längenausmessung die beiden anderen Dimensionen bedeutend überwiegt. Jedoch lässt sich in dieser Beziehung nicht immer eine ganz strenge Trennung durchführen, indem man nicht selten Faserzellen antrifft, welche die erstgenannte Zellenart kaum an Länge übertreffen oder gar hinter sehr gestreckten Parenchymzellen zurückbleiben. In senkrechter Richtung berühren sich die Faserzellen in der Regel allseitig mit mehr oder minder schief gestellten Flächen, so dass im

Allgemeinen ihre Gestalt eine doppeltspindelförmige, prismatisch-pyramidale, walzen-, kegel- oder doppeltkegelförmige wird (Fig. 164). Nur in seltenen Fällen begegnet man horizontal gestellten Scheidewänden, wie bei den vereinzelten Bastfasern der Euphorbien (Fig. 165).

Im Allgemeinen sind die Faserzellen einfach, hier und da kommen jedoch auch verzweigte, ziemlich bis bedeutend in die Länge gestreckte, bisweilen aber auch kurze Faserzellen vor, so in dem Holzkörper des Kürbisstengels, der Linde, in dem Basttheile des Gefässbündels der Asclepiadeen und Apocyneen (siehe Fig. 65, V u. VI, S. 128), von Larix und Auracaria (Fig. 166), ferner in dem Marke der Rhizophora-, Fagraea- und Nymphaeaarten, endlich in dem Blattgewebe mancher der genannten Pflanzen, mancher Oleaceen, Proteaceen, Ternstroemiaceen (Camellin), Aroideen u. s. w.

Structur der Zellwand. — Die Zellstoffhülle der Faserzellen ist immer mehr oder weniger verdickt. Es lassen sich neben der Primärwand immer noch secundäre und tertiäre Verdickungsschichten beobachten. Geringer verdickte Faserzellen finden sich in dem Holzkörper der krautartigen Pflanzen, ferner in dem inneren Theile des Jahresringes der Nadelhölzer, der weichen Laubholzarten, der Linde u. s. w., minder zahlreich, in Gruppen oder Bändern geordnet, oder auch mehr unregelmässig zerstreut, in dem Holze der anderen Laubbäume, Eiche u. s. w. Sehr stark verdickte Faserzellen bietet der Basttheil der meisten Gewächse, ausserdem findet man sie in dem äusseren Theile des Jahresringes der Nadelbäume und mancher weichen Laubholzarten, sowie verschieden gruppirt in dem Holzkörper der harten Laubhölzer.

Die secundären Verdickungsschichten erscheinen häufig, namentlich bei den Zellen des Bastes, auf das Deutlichste vielschichtig, was man sowohl auf dem Quer- als auf dem Längsschnitte erkennt. In anderen Fällen aber, so bei vielen Holzzellen, bilden dieselben eine homogene, an Dichtigkeit der Primärwand und der Innenwand (sogen. tertiären Schicht) nachstehende Masse, wie wir dies bereits bei den Untersuchungen über die Verdickung der Zellwand beobachtet haben. Wo die Schichtung an den unverletzten Zellen nicht deutlich hervortritt, da erscheint dieselbe öfters nach der Behandlung aller der Reagentien, welche ein Aufquellen der Zellwände veranlassen, wie Kupferoxydammoniak, Schwefelsäure, Chromsäure, Aetzkali, Salpetersäure und chlorsaures Kali.

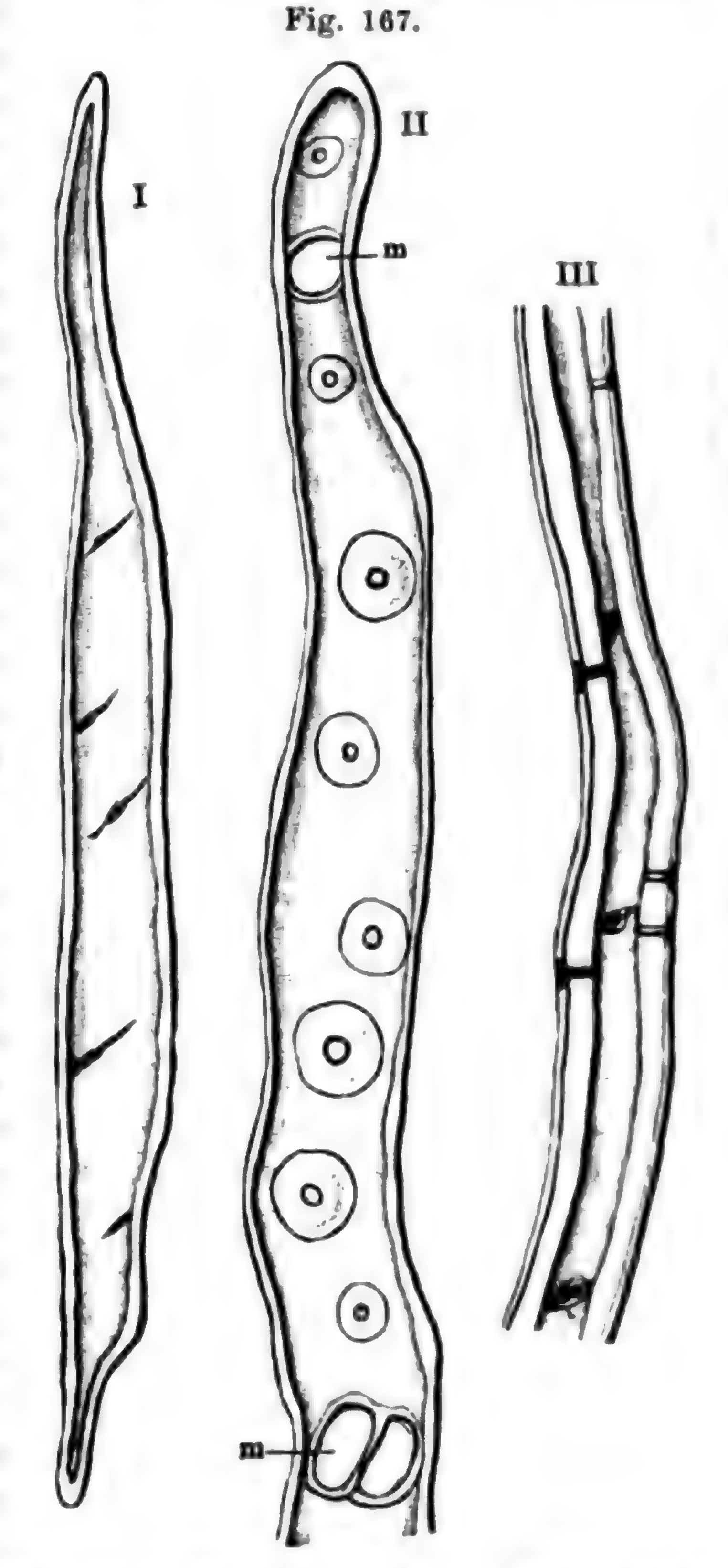
Die Formen der Verdickungsschichten zeigen hier bei Weitem nicht jene Verschiedenheiten, welchen man bei den parenchymatischen Zellen und der nachfolgenden Zellenart begegnet. Am häufigsten findet sich die poröse Verdickung.

Einfache, unbehöfte oder vielmehr scheinbar unbehöfte Poren beobachtet man bei den Bastfaserzellen sowohl als bei manchen Holzfaserzellen (Fig. 164, II, und 167, I u. III, a. f. S.), und erscheinen dieselben immer nur dann geschlossen, wenn die betreffenden Zellen während des Winters Stärke führen, wie es bei manchen Holzzellen, z. B. von

Digitized by Google

Sambucus, Acer, Berberis etc., der Fall ist. Poren mit verhältnissmässig grossem Hofe kommen am häufigsten bei den Holzfasern vor. Die Nadelhölzer haben nur deutlich oder gross behöfte Poren (Fig. 167, II, IV, VI, VII), und zwar ist der Hof in den dünnwandigen Zellen des inneren Theiles der Jahresringe weit grösser, als in den dickwandigen des äusseren Theiles. Die gross behöften Poren sind im ausgebildeten Zustande, soweit die betreffenden Faserzellen noch irgend als Leitorgane des Wassers thätig sind, immer geschlossen, dagegen findet man dieselben, sobald diese Zellen nur Luft führen, meist offen, sobald sich nur die Wände von Faserzellen oder von Faser- und Röhrenzellen berühren. Nur da, wo die Wände der ersteren mit denen von Parenchymzellen zusammenstossen, bleibt die Schliesshaut der Poren dauernd vorhanden.

Fig. 167.



Ein schmales, weit gewundenes Spiralband tritt neben den behöften Poren in den Holzzellen des Eibenbaumes (Taxus) (Fig. 167, IV), des Weinstockes (Vitis vinifera), des Seidelbastes (Daphne mezereum), des wolligen Schneeballes (Viburnum Lantana) etc. mit entsprechend engeren Windungen in den Herbstholzzellen von Picea vulgaris (wo diese mit der nachfolgenden Form verwechselt worden ist) auf (Fig. 167, V). Breite Spiralbänder mit sehr schmalen unverdickten Stellen der Zellwand, so dass man von einer spiraligen Streifung spricht, beobachtet man häufig in den stark verdickten Holzzellen des äusseren, seltener in den weniger verdickten Zellen des inneren Theiles der Jahresringe der Kiefer (Fig. 167, VI), während in dem abnorm verdickten Frühlingsholze der Aeste und Zweige mancher Nadelbäume, sowie mancher einfach behöften Holz- und der stärker verdickten und verholzten Bastfasern schmale Spiralbänder mit etwa gleich breiten oder nur wenig schmäleren

Digitized by Google

unverdickten Streifen auftreten (Fig. 167, VII). Wo diese Streifung — namentlich die erstere Form — nicht schon an den frischen Zellen hervortritt, da wird sie oft nach der Behandlung mit Salpetersäure und chlorsaurem Kali oder anderen, Quellungserscheinungen hervorrufenden

Fig. 167.

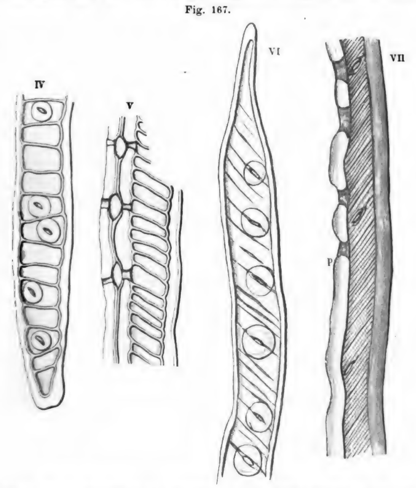


Fig. 167. Structur der Zellwand der Faserzellen. I wenig verdickte Holzzelle von Tilia ulmifolia mit spaltenförmigen, scheinbar unbehöften Poren. II Holzzelle von Pinus silvestris mit behöften Poren (*m m* Poren zwischen Holz- und Markstrahlenzellen). III Holzzelle aus Quercus pedunculata mit stark verdickter Zellwand und spaltenförmigen kleinen Poren. IV Holzzelle von Taxus baccata mit behöften Poren und Spiralband. V Holzzelle aus dem äusseren Theile des Jahresringes von Picea vulgaris mit Spiralband (sogenannter spiraliger Streifung). VI eine ähnliche Zelle aus dem inneren Theile mit breitem Spiralbande und schmalen unverdickten Zwischenräumen. VII abnorm verdickte Zelle aus dem inneren Theile des Jahresringes vom Astholze der Pinus silvestris mit feiner spiraliger Streifung und zerstreuten spaltenförmigen, behöften Poren. Vergr. 1 : 400; Fig. V 1 : 1000.

Reagentien deutlich und tritt dann, wie dies bei breiteren unverdickten Stellen schon an dem unverletzten Querschnitte der Fall ist, auf dem

Digitized by Google

Querschnitte in Form von radialen, aus dem Lumen nach der Peripherie der Zelle verlaufenden, feinen Streifen hervor, die sehr engen Porencanälen ähneln und auch mehrseitig für solche angesehen worden sind.

Bei den Bastfasern der Asclepiadeen und Apocyneen zeigen die secundären Verdickungsschichten hier und da die früher näher besprochene einfache Spiralstreifung (Fig. 168, I), häufiger dagegen jene interessante Formenbildung, bei welcher das Spiralband in verschiedenen Schichten eine gerade entgegengesetzte Richtung besitzt, so dass die Zellwand in der Flächenansicht rhombisch gefeldert erscheint (Fig. 168, II).

Fig. 168.

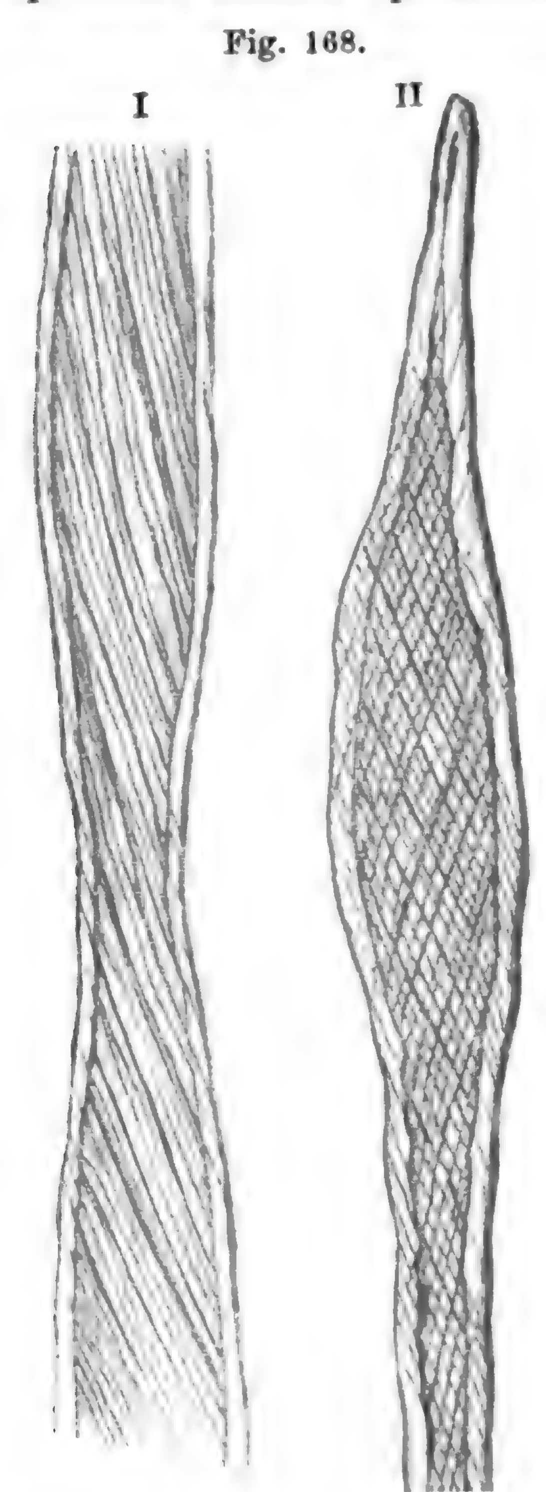


Fig. 168. I einfach gestreifte Bastzelle von Asclepias syriaca. II Bastzelle von Cynanchum vincetoxicum mit sich kreuzenden Spiralstreifen in verschiedenen Schichtencomplexen. Vergr. 1 : 370.

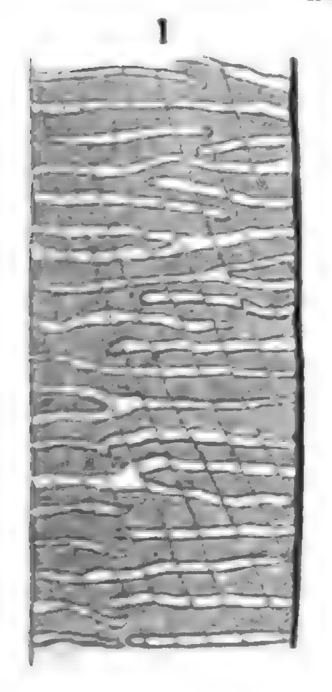
Die von von Mohl, Valentin und Schacht für einzelne dieser Zellen schon früher erkannte und als „netzförmige Verdickung“ (Mohl) oder als „horizontale Streifung“, später als „Ringstreifung“ (Reinke) und neuerdings als „Querlamellirung“ (Krabbe) beschriebene, namentlich bei den Gattungen: Vinca, Apocynum, Amsonia und Nerium scharf ausgeprägte Zeichnung, welche — soweit sie in den unverletzten Zellen nicht vorhanden ist, und erst durch Reagentien hervorgerufen wird, welche Quellungserscheinungen bewirken, wodurch die secundären Verdickungsschichten sich verkürzen und in der inneren eine Faltung veranlassen — nach dem Vorschlage von Correns wohl am geeignetsten mit dem Namen „Bänderung“ zu belegen sein dürfte, beruht auf Verhältnissen, die von verschiedenen Beobachtern in verschiedener Weise erklärt werden, d. h. theils in Durchschnittsansichten der Verdickungsformen, theils in einer Faltung gewisser Schichten, theils in Dichtigkeitsunterschieden ihren Grund haben sollen und bis jetzt ihrem Wesen nach noch nicht vollständig erkannt sind. Die Bänderung tritt, soweit ich bis jetzt beobachten konnte, niemals in der Primärwand, sondern nur in den secundären Verdickungsschichten auf, kann einzelnen Bastfasern derselben Pflanzen, ja desselben Faserbündels gänzlich oder streckenweise fehlen und sowohl nur einzelnen als mehreren Schichtencomplexen an-

Digitized by Google

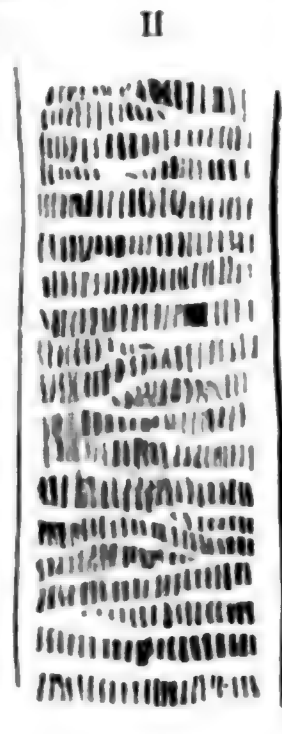
gehören. Dieselbe erscheint in der Flächenansicht in Form von senkrecht oder fast senkrecht zur Zellenachse verlaufenden, ungleich langen, mehr oder weniger welligen, oft verästelten, bisweilen mittelst der Verzweigungen unter sich verbundenen, jedoch keine geschlossenen Netzmaschen bildenden, glänzenden, d. h. stärker lichtbrechenden, nicht scharf begrenzten, durch dieselben an Breite übertreffende, schwächer lichtbrechende, matte Zwischenräume getrennten Bändern (Fig. 169, I). Eine eigenartige Structur kommt zum Vorschein, wenn man getrocknete Fasern unter Alkohol oder in Canadabalsam eingeschlossen betrachtet. Es zeigen sich dann bei Vergrösserungen von 300 bis 400 an einzelnen Stellen der Fasern in den die hellen Bänder trennenden, schwächer brechenden Zwischenräumen schwarze, bald die ganze Breite derselben durchsetzende, bald kürzere, an dem oberen oder unteren Querbande ansetzende, von lichteren Streifen getrennte, längliche Flecken (Fig. 169, II), welche sich bei stärkeren Vergrösserungen — namentlich mittelst Oelimmersionen — als ein System von durch schmälere helle Linien getrennten, in den auf einander folgenden matten Querbändern meist mit einander abwechselnden Kammern erweisen. Diese besitzen eine längliche Gestalt (Fig. 169, III) und können mittelst richtigen Gebrauches der feinen Einstellung als lufterfüllte Räume erkannt werden, was namentlich da deutlich hervortritt, wo einzelne Kammern nicht mehr ganz mit Luft erfüllt sind und dann bei geeigneter Einstellung die Wirkung von Concavlinsen hervorrufen (Fig. 169, III, in der Mitte).

Fig. 169.

I



II



III

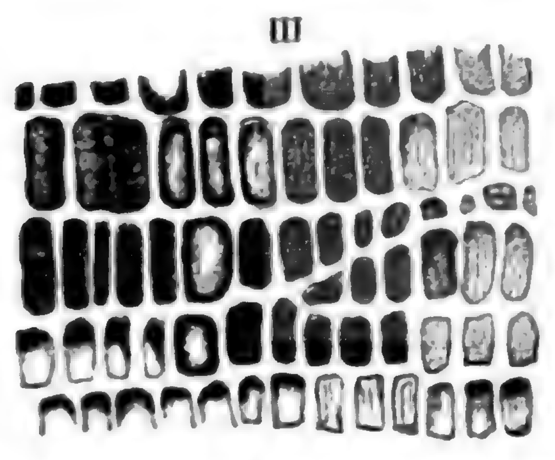


Fig. 169. Theile isolirter Bastfasern aus der Wurzel von Amsonia latifolia. I in Wasser beobachtet, II getrocknet und in Canadabalsam eingeschlossen, III Theilstück von II. Vergr. I 1 : 1000, II 1 : 750, III 1 : 3000 [1]).

Färbungen sowohl mit Hämatoxylin und Carbolfuchsin als mit Methylenblau und Methylgrün ergaben mir keine greifbaren Resultate. Der

[1]) Fig. 169. III ist mit Apochromat 2 mm und Compensationsocular 12 bei 50 mm Abstand gezeichnet.

Digitized by Google

mittelst all der genannten Reagentien sich tief färbende Inhalt scheint durch die Zellwand hindurch, und so scheinen auf der Mitte der Faser die stärker lichtbrechenden Streifen heller, die schwächer brechenden dunkler gefärbt zu sein. Dass die ersteren tiefer, die letzteren schwächer gefärbt werden, habe ich bei den bisher von mir beobachteten Objecten (Amsonia latifolia und Vinca minor) nicht beobachtet. Es bleiben sonach die Angaben von Correns noch näher zu prüfen.

Um sich genauen Aufschluss über die Beschaffenheit der secundären Verdickung der Faserzellen überhaupt, namentlich aber über den Bau und die Anordnung der Poren zu verschaffen, muss man zarte Querschnitte sowohl als radiale und tangentiale Längsschnitte zur Beobachtung verwenden. Man wird sich auf diese Weise das Geschlossen- oder Offensein der Porencanäle zur Anschauung bringen und davon überzeugen, dass die deutlich behöften Poren vorzugsweise auf den mit den Markstrahlen parallelen (radialen) Wandungen, seltener, wie z. B. in den äussersten Zellreihen des Herbstholzes der Nadelhölzer, auf den nach dem Marke und nach der Rinde gewendeten (tangentialen) Wandflächen vorkommen, dass dagegen die scheinbar unbehöften Poren ziemlich gleichmässig nach allen Seiten vertheilt sind. Ausser zarten Schnitten muss man aber auch zu Macerationspräparaten greifen und die Faserzellen in isolirtem Zustande beobachten, weil nur auf diese Weise eine klare Anschauung der äusseren Gestalt erlangt werden kann, die auf den Längsschnitten niemals scharf genug ausgeprägt hervortritt. Man verwendet am passendsten zu den Macerationspräparaten etwas dicke Längsschnitte, und lässt auf dieselben das macerirende Gemisch so lange einwirken, bis die anfänglich eintretende gelbe Färbung der Schnitte wieder verschwindet. Alsdann kocht man die in eine flache, mit reinem Wasser gefüllte Schale geschütteten Schnitte einige Male in destillirtem Wasser, zuletzt mit Weingeist aus, um jede Spur der angewendeten Agentien daraus zu entfernen. Unter dem Präparirmikroskope kann man jetzt mittelst der Nadel die Zellen isoliren und auslesen, um sie unter dem zusammengesetzten Mikroskope zu betrachten, wobei man nicht versäumen darf, dieselben erforderlichen Falles um ihre Längsachse zu rollen.

Chemisches Verhalten der Zellwand. — Das im ausgebildeten Zustande auftretende chemische Verhalten der verschiedenen Schichten der Zellwand, welche im jugendlichen Zustande immer aus reinem Zellstoff bestehen, ist bei den Faserzellen verschieden, und hat man sich durch die Anwendung der passenden Reagentien davon eine völlig genügende Kenntniss zu verschaffen.

In allen ihren Schichten unverholzte Faserzellen habe ich bis jetzt vorzugsweise in dem Basttheile des Gefässbündels der Asclepiadeen und Apocyneen gefunden. Behandelt man einen zarten Querschnitt von Nerium Oleander, Hoya carnosa, Asclepias syriaca, Cynanchum vincetoxicum u. a. mit Chlorzinkjod, mit Jod und Schwefelsäure oder mit

Digitized by Google

Hämatoxylinlösung, so zeigen die vereinzelt stehenden sowohl, als die gruppenweise geordneten, fast bis zum Verschwinden des Lumens verdickten Bastzellen fast sofort nach der Einwirkung der ersteren Reagentien, in allen ihren Theilen die Zellstoffreaction (Fig. XVI, Taf. II). Wo diese Zellen, was bei den genannten Familien nicht immer der Fall ist, noch zu einem vollständigen Gewebe vereinigt sind, da zeigen sich, bei Anwendung der ersteren, zwischen den röthlichblau oder blau gefärbten Zellen noch zarte weiss gefärbte Streifen der Intercellularsubstanz, welche sich in den Ecken, wo mehrere Zellen zusammenstossen, zu drei- bis viereckigen Zwickeln verdicken. Die Hämatoxylinfärbung ergreift sämmtliche Wandschichten fast in gleichem Grade und erscheint die Cambialwand (Intercellularsubstanz), wo Intercellularräume auftreten, diese auskleidend, meist nur wenig tiefer gefärbt. Rutheniumroth färbt die Zellwände nicht oder nur schwach rosenroth, dagegen die Intercellularsubstanz intensiv carminroth (Fig. 139, S. 220). Durch Behandlung mit Kupferoxydammoniak werden die Zellwände, wenn die Lösung lange genug einwirkt, gelöst, während die Cambialwand ungelöst zurückbleibt. Die beiden letzten Reactionen zeigen nun, im Verein mit der Blaufärbung durch die sogenannten Zellstoffreagentien, dass wir es bei dem Bestand der Bastfaserwände dieser Pflanzen mit reinem oder doch fast reinem Zellstoff zu thun haben.

Eine Verholzung der primären und wohl auch der älteren secundären Zellstoffschichten, während die jüngeren secundären sowohl, als auch hier und da die Innenschicht (tertiäre Schicht) unverholzt bleiben, tritt bei den Bastfasern von Ficusarten, von Cytisus und Acer, ferner bei den stark verdickten, weniger häufig mit Poren besetzten Holzfasern der Eiche, des Ahorns, der Besenpfrieme u. s. w. auf. Nach der Behandlung mit Chlorzinkjodlösung färben sich hier die Innenwand, sowie entweder die älteren und jüngeren secundären, oder doch die jüngeren secundären Verdickungsschichten, welche sich schon im unverletzten Zustande durch ihr gallertartiges Aussehen auszeichnen, röthlich bis röthlichblau, und zwar so, dass die Färbung der ersteren Wandschicht sich mehr dem Blau nähert, als die der anderen (Fig. 124, S. 200). Die primäre Zellwand oder diese sammt der ältesten secundären und hier und da auch der Innenwand nehmen dagegen eine verschieden nüancirte gelbe Färbung an. Besonders belehrende Bilder gewähren in diesen Fällen, namentlich nach Behandlung mit den Holzstoffreagentien, Färbungen mittelst Fuchsin, Methylgrün und anderen Färbeflüssigkeiten, indem sich der Grad der Verholzung in den verschiedenen, im vorigen Kapitel näher beschriebenen Färbetönen zu erkennen giebt. In den meisten Fällen erscheinen sämmtliche Schichten der Zellwände unserer Zellen mehr oder minder stark verholzt, oder es zeigt doch nur die Innenwand Zellstoffreaction. Letzteres ist jedoch nicht immer der Fall. Je nach dem Verholzungsgrade treten auf die Einwirkung von Jod und Schwefelsäure, von Chlorzinkjodlösung oder der Färbemittel die oben

Digitized by Google

Fig. 170.

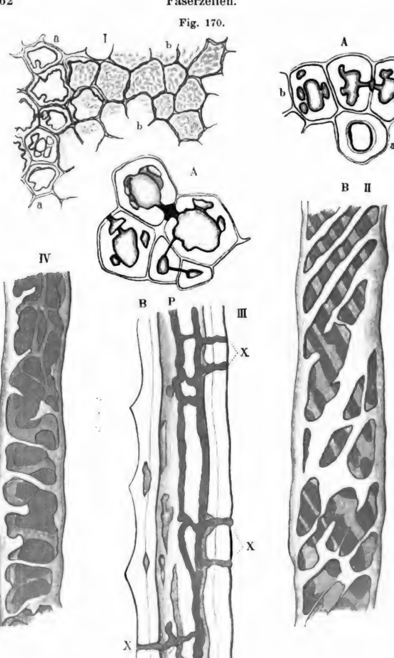


Fig. 170. Durch Pilze hervorgerufene Zerstörung der Zellwand. I Querschnitt aus dem Holze von Fagus sylvatica, bei *aa* die Zerstörung der secundären Schichten noch im Werke; bei *bb*

Digitized by Google

erwähnten Farbenabänderungen ein. Kocht man diese Zellen in Aetzkali oder behandelt man sie mittelst des **Schulz**'schen Macerationsgemisches, wäscht sie gehörig aus und wendet dann Chlorzinkjodlösung an, so färben sich auch die vorher gelben Schichten der Zellwand in der dem Zellstoff eigenen Weise. Nur die Intercellularsubstanz giebt sich, wo sie nicht durch die vorgängige Behandlung aufgelöst worden war, durch ihre gelbe Färbung zu erkennen.

Da, wo die Faserzellen geschlossene Poren besitzen, bleiben stets die Theile der unter Umständen verholzten Innenwand, welche die Schlusswände dieser letzteren bilden, unverholzt, so dass sie sich entweder sofort oder doch nach längerer Einwirkung von Chlorzinkjodlösung, Jod und Schwefelsäure mehr oder minder rein violett bis blau, bei Färbung mittelst Hämatoxylin oder Rutheniumroth in der bekannten Weise (siehe S. 201) färben.

Für die ungetrübte Erkennung des chemischen Verhaltens der verschiedenen Wandtheile und Wandschichten sind recht dünne Querschnitte unerlässliche Bedingung, weil nur an ihnen die kennzeichnenden Farbenerscheinungen klar und entschieden in die Erscheinung treten.

Die Zerstörung, welche die Pilze in den Verdickungsschichten der Faserzellen öfter hervorbringen, und denen wir, da sie immerhin schon deshalb, weil sie in einzelnen Fällen als Verdickungsformen betrachtet worden sind, ein gewisses Interesse bieten, eine kurze Betrachtung widmen wollen, geschieht entweder vom Lumen der Zellen aus und kann dann bis zum mehr oder minder vollständigen Verschwinden des ersteren fortschreiten, wie es z. B. bei der Weissfäule der Buche geschieht (Fig. 170, I). In anderen Fällen dringen die Pilzfäden durch die offenen Porencanäle ein (Fig. 170, III) und es folgen ihre Bahnen der Richtung der Verdickungsschichten, so dass in der Regel spiral- oder netzförmige Aushöhlungen erscheinen. Häufig verfolgt der eindringende Pilz indessen nicht allein diese Wege und verzweigt sich mannigfach, so dass auf den Zellwänden die verschiedenartigsten Zeichnungen entstehen. Zur Beobachtung dieser Erscheinungen, die ich hier nicht weiter verfolgen und bezüglich deren ich nur auf die beigegebenen Figuren (Fig. 170, I bis IV) und deren Erklärung, sowie auf die **Schacht**'sche Arbeit verweisen will, dienen theils Quer- und Längsschnitte, theils isolirte Zellen aus den betreffenden Pflanzentheilen.

die ganze Zellwand bis auf mehr oder minder grosse Reste der primären Schicht zerstört und das Zellenlumen mit einer grumosen Masse erfüllt. Vergr. 1 : 660. II Holz von Anona laevigata. *A* Querschnitt, bei *a* eine unverletzte Zelle, bei *bb* beginnende Zerstörung. *B* Theil einer macerirten Zelle mit schon weit fortgeschrittener Zerstörung, so dass nur noch einzelne Brücken der Verdickungsschichten stehen (die ganz zerstörten Stellen sind durch die dunkelste Schattirung angedeutet). Vergr. 1 : 780. III Bast aus Sabal umbracilifera. *A* Querschnitt einiger Zellen. *B* isolirtes Zellenstück mit noch in Thätigkeit begriffenen Pilzfäden (von brauner Farbe) *PP*, welche die Porencanäle durchdringen, bei *xx*. Vergr. 1 : 520. IV Theil einer fast völlig zerstörten Bastfaser von Taxodium distichum. Vergr. 1 : 520.

Digitized by Google

Optisches Verhalten der Faserzellen.

Holzfasern. Die Holzfasern der Cycadeen, Nadel- und Laubhölzer leuchten auf dem Querschnitte, wenn dieser zart genug ist, unter + 45° und — 45° in den niedersten Interferenzfarben, meist Grau bis Weiss der ersten Ordnung, und besitzen unter 0° und 90° das neutrale Kreuz. Hierbei treten die Primär- und Innenwand als die stärker, die secundären Verdickungsschichten als die minder stark wirkenden Theile auf, indem erstere, je nach der Schnittdicke, in verschieden hellem bis gelblichem Weiss, die anderen in verschiedenen Abänderungen von Weiss bis Grau, das meist um so dunkler wird, je mächtiger die secundäre Wandpartie ist, aufleuchten (Fig. 171).

Fig. 171.

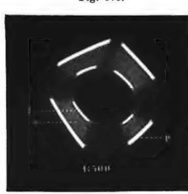


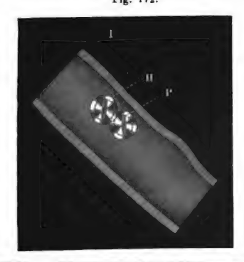
Fig. 171. Herbstholzzelle von Pinus silvestris im Querschnitt; *p* primäre Zellwand, *s* secundäre Verdickungsschichten, *i* Innenwand. Vergrösserung 1 : 500.

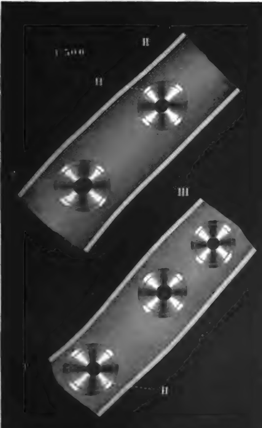
Isolirte Zellen mit der Längsachse unter + oder — 45° orientirt zeigen, während sie bald mit, bald ohne neutrale Streifen erscheinen (Fig. 172) und die Poren sich gleich dem Querschnitte verhalten, d. h. das unter 0° und 90° dahingehende neutrale Kreuz hervorrufen, ihren höchsten Glanz, geben aber auch unter 0° den dunklen Grund nicht wieder, d. h. sie erscheinen unter keiner Stellung ganz neutral. Nur bei einer bestimmten Structur der Verdickungsschichten, d. h. wenn diese um 45° gegen die Zellenachse geneigte spaltenförmige Porencanäle oder Spiralstreifen zeigen, wird es die Mitte der Fläche in allen Stellungen.

Die Interferenzfarben, welche unter + oder — 45° auf Rand und Mitte der isolirten Zellen hervortreten, zeigen eine dreifache Verschiedenheit. Bei den Zellen der Cycadeen, welche schiefe Porenspalten besitzen, wie bei den meisten der minder stark verdickten, weiten Zellen des Frühlingsholzes der Nadelbäume, auch wenn die Porencanäle eine kreisrunde Gestalt haben, erscheint der Rand in hellem Weiss, die Mitte matter weiss bis grauweiss, und zu beiden Seiten in der Nähe des ersteren treten zwei neutrale Streifen auf (Fig. 172, I u. II). Nur bei den hierher gehörigen Zellen von Abies pectinata fehlen häufig die neutralen Streifen und es leuchtet die ganze Fläche (Fig. 172, III). Bei etwas stärker verdickten Zellen können die Interferenzfarben von Weiss bis zu Gelb und Orange der ersten Ordnung steigen, dann gehen dieselben anfangs rascher, später langsamer auf Weiss bis Grau zurück, bis

Digitized by Google

Fig. 172.





ein grösserer oder kleinerer Theil der Mitte als vollständig neutral erscheint. Die stark verdickten Herbstholzzellen lassen an dem Rande die Interferenzfarben nicht selten (Pinus canariensis, auch Pinus silvestris etc.) von Weiss über Gelb, Orange bis zu Roth erster Ordnung, oder zu Violett bis Blau zweiter Ordnung steigen, von wo aus dieselben anfangs rascher, dann langsamer bis auf verschiedene Abstufungen von Weiss zurückgehen, welches den grösseren Theil oder fast die ganze Mitte der dem Beobachter zugekehrten Fläche einnimmt.

Ziehen wir aus diesem optischen Verhalten unsere Schlüsse, so ergiebt sich, dass die Holzfasern sämmtlich den zweiachsigen Charakter besitzen, dass eine der drei Elasticitätsachsen in dem Radius dahingeht, dass in deren Rande eine der grösseren

Fig. 172. I Theil einer Holzfaser von Cycas revoluta mit rechts ansteigenden spaltenförmigen Porencanälen, welche mit der Zellenachse einen über 45° hinausgehenden Winkel machen. *H* Porenhöfe. II Theil einer isolirten Frühlingsholzzelle von Pinus silvestris mit runden Porencanälen. III Frühlingsholzzelle von Abies pectinata mit gleichfalls runden Porencanälen. *P* und *H* wie unter I. Vergrösserung 1 : 500.

Digitized by Google

Achsen vorzugsweise zur Geltung kommt, während auf der Mitte je nach Umständen eine Neigung der in dem Tangentenschnitte liegenden beiden Achsen zur Zellenachse auftritt, welche an den normal gebildeten Fasern des inneren und äusseren Theiles der Jahresringe eine verschiedene Winkelgrösse, und zwar von weit über 45° an — in den dünnwandigen Zellen — bis zu einem sehr spitzen Winkel — in den dickwandigen Herbstholzzellen — zeigen kann, und endlich, dass in Betracht des Verhaltens von Querschnitten in den secundären Verdickungsschichten der Herbstholzzellen zwischen der radialen und der kleineren, in dem Tangentenschnitte liegenden Achse der Unterschied in der Grösse nur ein unbedeutender sein kann. Weitere Aufschlüsse werden wir nunmehr aus dem Verhalten von Querschnitt, Rand und Mitte der Fasern, welche zur Vermeidung von wechselnden Farbengebungen, auf welche wir in einem besonderen Falle näher zurückkommen werden, isolirt (macerirt) zu beobachten sind, über einem eingeschalteten Gypsplättchen von Roth erster Ordnung zu entnehmen haben.

Der Querschnitt aller Holzfasern liefert auf dem Gypsplättchen in den Quadranten von + 45° Subtractions-, in jenen von — 45° Additionsfarben. Hier tritt bei den stärker verdickten Holzfasern der Unterschied in der Wirkung der Primär- und Innenwand einer- und der secundären Verdickung andererseits, der bei dünnwandigen gleichartigen Elementen — wie oben — ebenfalls lange nicht so bedeutend ist, noch entschiedener hervor als vorher. Die ersteren erhöhen und erniedrigen die Interferenzfarben in den betreffenden Quadranten entschieden auf Dunkel- bis Hellblau und Orange bis Hellgelb, während die letzteren bei hinreichend dünnen Schnitten nur eine sehr schwache Färbung in Violett bis Dunkelblau und Roth-Orange bis Orange hervorrufen, ja manchmal anscheinend neutral erscheinen.

Für die Längsansichten haben wir zunächst die Beobachtung solcher Zellen heranzuziehen, in denen die Primärwand bereits gebildet, aber noch keine andere Verdickungsschicht abgelagert ist. Als Objecte können entweder zarte Längsschnitte durch die Cambiumregion in lebhaftem Wachsthume begriffener Triebe, oder isolirte Zellen aus demselben Theile des Gefässbündels dienen. Die passenden Zellen muss man dann heraussuchen und findet man sie leicht da, wo der Porenhof sich eben zu bilden beginnt, wo also nur erst die gedachte Wandschicht vorhanden ist. Mit der Längsachse unter + 45° orientirt, bringen die Ränder auf dem Gypsgrunde Additionsfarben hervor, dann folgt jederseits ein schmaler, neutraler Streifen und die Fläche in ihrer fast vollen Breite befindet sich in Subtraction. Letztere zeigt bei der geringen Dicke der Zellwand natürlich eine nur schwache Wirkung, die indessen noch immer — namentlich auf dem Violett der dritten Ordnung, dem sogen. Uebergangsviolett — mit voller Bestimmtheit wahrzunehmen ist. Unter 0° und 90° erscheinen die isolirten Fasern anscheinend neutral. In gleicher Weise verhalten sich in der Regel die schwach verdickten Fasern des Frühlings-

Digitized by Google

holzes. Aus diesem Verhalten, verglichen mit jenem des Querschnittes, folgt, dass die kleinste Elasticitätsachse radial, die grösste tangential, die mittlere axial gestellt ist, wobei wegen der schwachen Wirkung der jugendlichen Zellwände noch unentschieden bleibt, ob die zweite senkrecht, mithin die dritte parallel zur Zellenachse gerichtet, oder ob sie in einem über 45° hinausgehenden Winkel zu derselben geneigt ist.

In allen den Zellen, welche stärkere Verdickungsschichten gebildet haben, wechselt das zu beobachtende optische Verhalten, mit Ausnahme der Poren, welche unter allen Umständen eine der des Querschnittes völlig gleiche Farbengebung hervorrufen, mannigfach. Die Holzfasern der Cycadeen, bei denen in dem Querschnitt ein Unterschied der Doppelbrechung zwischen Primärwand, Innenwand und der zwischen diesen liegenden Verdickung kaum oder nicht hervortritt, und deren in rechtswendiger Spirale ansteigende spaltenförmige Porencanäle einen über 45° hinausgehenden Winkel mit der Zellenachse machen oder horizontal stehen, erscheinen isolirte Zellen unter + 45° orientirt auf den Rändern in Addition, auf der Mittel- oder Flächenansicht in Subtraction und zwischen letzterer und ersteren in der Nähe dieser zwei neutrale Streifen, sodann erweist sich im ersten Falle die Orientirung mit der Längsachse unter 0° als Alternativ-, jene unter 90° als Consecutivstellung, bei beziehentlich unter 90° und 0° gerichteter Mittellinie der beiden grössten Achsen der schief gerichteten Elasticitätsellipsoide. Aehnlich verhalten sich im Allgemeinen die dünnwandigen Wurzelholzzellen von Araucaria, die sämmtlichen Holzzellen von Taxus baccata, die Frühlingsholzzellen von Pinus silvestris, strobus und canariensis, von Larix europaea, Ephedra, Gnetum, mehr vereinzelt die gleichen Elemente von Abies pectinata und Picea vulgaris. Dies Verhalten beweist, dass bei allen diesen Zellen die kleinste Elasticitätsachse radial dahingeht, die in einer tangentialen Ebene liegenden mittlere und grösste aber horizontal steht oder die Zellenachse schief schneiden, und zwar derart, dass die letztere, welche einer den Porenspalten entsprechenden, und da, wo eine spiralige Anordnung der secundären Verdickungsschichten ersichtlich ist (Stammholz von Wellingtonia), einer mit dieser gleichgerichteten Spirale folgt, einen mehr oder weniger über 45° hinausgehenden Winkel mit ihr macht. In dieser Achsenstellung findet dann auch die etwas stärkere Wirkung der secundären Verdickung dieser dünnwandigen Zellen auf dem Querschnitte ihre Erklärung, da in derselben für den betreffenden Ellipsoidquerschnitt neben der radial gestellten eine diese an Grösse stark überwiegende tangential gerichtete zur Geltung kommt.

Manche der etwas stärker verdickten Frühlingsholzzellen von Pinus silvestris und canariensis, Abies pectinata, Picea vulgaris und Larix europaea, sowie die grössere Zahl der abnorm verdickten, spiralstreifigen des Astholzes ersterer Art lassen eine Neigung der Porenspalten beziehentlich der Streifen von 45° oder nahezu 45° gegen die Zellenachse beobachten, und dem entsprechend unterscheidet sich das optische Ver-

Digitized by Google

halten gegen das eben beschriebene. Dieselben bleiben gleich den entsprechenden, verdickten Parenchymzellen von Aloë (Fig. 162, II, S. 250) auf der Mitte in allen Stellungen ganz oder nahezu ganz neutral, während die Ränder unter + 45° Additions-, unter — 45° Subtractionsfarben, die ausserhalb des neutralen Mittelstreifens liegenden Flächentheile unter — 45° Additionsfarben, unter + 45° Subtractionsfarben hervorrufen und sich unter 0° in der Alternativ-, unter 90° in der Consecutivstellung befinden. Die spiralstreifigen Holzfasern des Astholzes von Pinus silvestris verhalten sich bei Längsschnitten über dem Gypsplättchen verschieden, je nachdem der Schnitt die Faser so getroffen hat, dass zwei sich scheinbar kreuzende Streifensysteme — sei es der oberen und unteren Wandfläche derselben Zelle oder zweier Nachbarwände — zur Geltung kommen, oder dass nur die obere oder untere Wand einer und derselben Zelle verblieben ist und nur ein Streifensystem wirksam wird. Im ersten Falle tritt das eben geschilderte Verhalten ein, während im anderen unter 0° und 90° Consecutiv- und Alternativstellung vertauscht werden. Ist nur die obere oder untere Wand mit den rechts, beziehentlich links aufsteigenden Spiralbändern geblieben, dann erscheinen unter 0° die Streifensysteme im ersten Falle in Addition, im anderen in Subtraction, während unter 90° die Farben umkehren, in beiden Fällen aber die Durchschnitte der Längswände neutral bleiben und die Flächenmitte unter + und — 45° neutral werden. Es bleibt also zufolge des hier beobachteten optischen Verhaltens die kleinste Elasticitätsachse wiederum radial gestellt, während die beiden anderen unter 45° zur Zellenachse geneigt, und zwar die grösste der betreffenden Spirale folgend, die mittlere auf dieser senkrecht stehend in einem Tangentenschnitt liegen (Fig. 173). Aehnlich verhalten sich die meisten der schon etwas stärker verdickten Frühlingsholzzellen von Abies pectinata und Picea vulgaris, dann die sämmtlichen Herbstholzzellen aller beobachteten Nadelholzarten, welche — mit Ausnahme von Taxus — spaltenförmige Porencanäle besitzen, die meist durch schmale, unverdickte Streifen verbunden, in einer nach rechts ansteigenden Spirale die Zellenachse unter Winkeln von nahezu 45° schneiden. Dagegen zeigen Herbstholzfasern (Pinus, Juniperus u. a.), bei denen die Porenspalten um beträchtlich weniger als 45° gegen die Zellenachse geneigt, oder gar, wie bei Abies pectinata, derselben gleich gerichtet erscheinen, über dem Gypsplättchen ein den stark verdickten Parenchymzellen von Aloë u. s. w.

Fig. 173.

Fig. 173. Stellung der Ellipsoiddurchschnitte bei Pinus etc. für die Mitte solcher Zellen, bei denen die grössere und mittlere Elasticitätsachse die Zellenachse unter 45° schneiden, bei Orientirung unter 0°.

Digitized by Google

entsprechendes optisches Verhalten. Die ganze unter 45° orientirte Zelle, Rand sowohl als Mitte, befindet sich in Addition, und es steigen die betreffenden Farbenstreifen vom äussersten Rande an bis zum Innenrande des optischen Längsschnittes ziemlich rasch, hierauf anfänglich noch rascher, dann langsamer bis zu einer der Dicke der Wandungen entsprechenden Interferenzfarbe auf der Mitte an. Unter — 45° treten unter gleichbleibenden Verhältnissen von Sinken und Steigen Subtractionsfarben auf, die in allen Fällen, wo in der Additionslage Roth zweiter Ordnung zu Tage trat, auf Schwarz herabgehen. Die Orientirung von 0° stellt sich hier als Consecutiv-, die von 90° als Alternativstellung dar (Fig. 161, S. 249).

Bei den letzteren Structurverhältnissen erscheinen die Interferenzfarben auf dem Querschnitte auf den hierher gehörigen Zellen in den secundären Verdickungsschichten gegen den vorhergehenden Fall an Intensität vermindert und in der Newton'schen Reihe in den Additionsquadranten herabgedrückt, in den Subtractionsquadranten erhöht.

Dieses und das vorher erwähnte Verhalten des Querschnittes verschiedener Zellenindividuen erklärt sich nun hinreichend aus der radialen Stellung der kleinsten, der in einem Tangentenschnitte verlaufenden Lage der grössten und mittleren Elasticitätsachse, wobei erstere der den Porenspalten oder den Verdickungsbändern entsprechenden Spirale parallel dahingeht. Wo nämlich der Winkel zwischen grösster Elasticitäts- und Zellenachse noch wenig unter 45° bleibt, da kommt im Querschnitt neben der kleinsten radialen eine diese überwiegende tangentiale Achse des betreffenden Ellipsoidquerschnittes zur Geltung (Fig. 163, S. 252) und es tritt die gleiche, wenn auch abgeschwächte Farbengebung wie in der primären Zellwand auf. Wo aber der Winkel viel kleiner als 45° oder gar 0° wird, also die grösste Elasticitätsachse mit der Zellenachse parallel geht, da kann der Fall eintreten, dass die beiden in dem betreffenden Ellipsoidquerschnitte zur Geltung kommenden Achsen nahezu einander gleich sind, jener also zu einer immer weniger verlängerten Ellipse, endlich annähernd zum Kreise wird, und das Object sich jetzt nahezu gleich einem einachsigen Körper verhält.

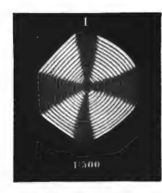
Gleich den dickwandigen Holzzellen der oben genannten Nadelhölzer verhalten sich, soweit meine Erfahrungen reichen, fast sämmtliche, auch die dünnwandigen Holzzellen der Laubholzarten, ähnlich wie die dünnwandigen Zellen von Pinus u. s. w., nur einzelne wenig oder mässig verdickte, fast quergestellte Porenspalten besitzende (Anona [Wurzel], Aristolochia), so dass bei denselben ganz derselbe Achsenverlauf wie bei jenen erschlossen werden darf.

Bastfasern. Im Querschnitt der Bastfasern treten überall das unter 0° und 90° dahingehende neutrale Kreuz und die unter + und — 45° liegenden leuchtenden Quadranten auf. In Bezug auf die verschiedenen Wandpartien macht sich aber ein dreifacher Unterschied geltend.

Digitized by Google

Die Bastfasern der Laubhölzer (Tilia und Quercus) und der Cycadeen — doch hier mit geringerem Unterschied zwischen der Primär- und Innenwand und der secundären Mittenverdickung — verhalten sich ähnlich wie die Holzfasern, jene der krautartigen Gewächse (Begonia, Lysimachia, Urtica), dann jene der Asclepiadeen und Apocyneen, der Nadelhölzer (Larix) zeigen in allen Theilen ein nahezu gleich starkes Leuchten (Fig. 174, I) und nur die weniger dichten Partien der einzelnen secundären Schichten treten zurück. Die Bastfasern von verschiedenen Palmen

Fig. 174.



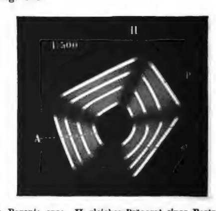


Fig. 174. I Querschnitt einer Bastzelle von Begonia spec. II gleiches Präparat einer Bastzelle von Caryota urens. *p* primäre Hülle, *s* weniger dichte, s^1 dichte secundäre Verdickungsschicht, *t* tertiäre Membran. Vergr. 1 : 500.

(Caryota, Metroxylon, Corypha) und von Urania guyanensis lassen die stärkste und gleich starke Wirkung in der Primär- und Innenwand, sodann in den S. 134 u. f. beschriebenen dichteren Grenzschichten der secundären Schichtencomplexe beobachten, während diese sonst an hinreichend feinen Schnitten in den übrigen Partien der secundären Wandung fast auf Null herabgedrückt erscheint.

Die Längsansicht sämmtlicher Bastzellen zeigt ohne Gypsplättchen ein übereinstimmendes optisches Verhalten. Unter + und — 45° orientirt, steigen die Interferenzfarben bei nicht verholzten oder wenig verdickten Zellen (Fig. 175) in den Rändern rasch von den tieferen bis zu den mittleren, bei verholzten und stärker verdickten bis zu höheren der ersten Ordnung und bei bedeutenderer Dicke der secundären Zellwandschichten, anfangs in rascherer, dann in weniger rascher Folge bis nahe an die Mitte bis zu Farben zweiter und sogar dritter Ordnung. Von den hier erreichten höchsten Farben aus tritt dann ein Sinken ein, das bei dünnwandigen Zellindividuen schnell bis zu einer der niederen oder mittleren, sich fast über die ganze Fläche verbreitenden Farben erster Ordnung, Bläulichweiss, Weiss, Gelbweiss, Gelb bis Orange, geht, bei dickwandigen Fasern dagegen, die nur ein verhältnissmässig kleines Lumen übrig lassen, erst gegen die Mitte beginnend, langsamer verläuft und nur auf

Digitized by Google

der Mittellinie und deren nächster Umgebung die niedrigste, aber meist noch der zweiten Ordnung angehörende Farbe der Fläche hervorruft. Unter 0° und 90° erscheinen die Bastfasern, obwohl die Farben an Intensität mehr oder minder verlieren, nicht neutral, was für einen schiefen

Fig. 175.

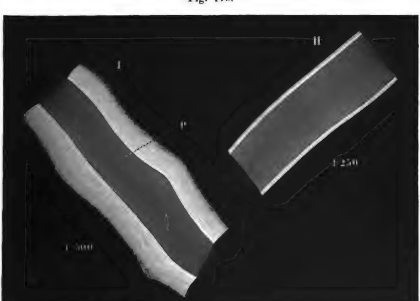


Fig. 175. I Theilstück einer isolirten Bastzelle mit steil ansteigenden Porenspalten von Begonia spec. mit der Längsachse unter — 45°, II Theilstück einer schwach verdickten Bastzelle von Caryota urens mit der Längsachse unter + 45° orientirt. Vergr. I 1 : 500, II 1 : 250.

Verlauf der in dem Tangentenschnitte liegenden beiden optischen Elasticitätsachsen spricht, von denen die eine die grösste sein muss.

Auf dem Gypsplättchen Roth erster Ordnung befinden sich die Quadranten des Querschnittes unter + 45° in Subtraction, unter — 45° in Addition, während unter 0° und 90° das neutrale senkrechte Kreuz auftritt. In Bezug auf die oben berührten Unterschiede macht sich hier, bei gleichem Charakter der Interferenzfarben in allen Wandtheilen, dieselbe Verschiedenheit in der Intensität geltend wie dort.

Isolirte Zellen befinden sich mit ihrer Längsachse unter + 45° orientirt in Addition, unter — 45° in Subtraction, wobei in letzterer Lage an allen den Stellen, welche ohne Gypsplättchen in diagonaler Lage das Roth erster Ordnung hervorbrachten, schwarze Streifen erscheinen. In den Stellungen 0° und 90° findet je nach den verschiedenen Pflanzengruppen entnommenen Objecten eine zweifache Verschiedenheit statt, welche mit der feineren Structur der secundären Zellwand in Verbindung steht. Die Bastfasern der Asclepiadeen und Apocyneen, ebenso von

Digitized by Google

Urtica und Cereus speciosus lassen, während sie beiderseits neutrale Streifen zeigen, unter 0° die Consecutiv-, unter 90° die Alternativstellung erkennen, während bei denen von Caryota, Metroxylon, Urania (die kürzeren), Solanum, Datura suaveolens, Larix u. s. w., zu deren Beobachtung man wenig verdickte Fasern aussucht, das Umgekehrte der Fall ist, d. h. die Stellung unter 0° als Alternativ-, unter 90° als Consecutivstellung erkannt wird. In der ersteren müsste sonach, während bei beiden die radial gestellte Elasticitätsachse die kleinste ist, die grösste einer links aufsteigenden, in der letzteren einer rechts aufsteigenden, zur Zellenachse um weniger als 45° geneigten Spirale folgen, was mit der zu beobachtenden feineren Structur, d. h. der in Spiralbändern erfolgenden Ablagerung der secundären Verdickungsschichten übereinstimmt, indem dort die einzigen oder die äusseren Spiralbänder einen links ansteigenden, hier einen rechts ansteigenden Verlauf nehmen.

An Schnittpräparaten treten da, wo nur eine einfache obere oder untere Wand stehen geblieben ist, die beziehungsweisen höchsten Additions- und Subtractionsfarben dann auf, wenn die Streifenrichtung unter + 45° oder — 45° orientirt erscheint, sind dagegen zwei an einander grenzende Wände erhalten, dann kehrt die Farbengebung in den beiden orthogonalen Stellungen gegenüber der der isolirten Fasern um.

Ueberblicken wir die für die Holz- und Bastfasern gewonnenen Beobachtungsresultate, so ergiebt sich eine vollständige Uebereinstimmung in den lichtbrechenden Verhältnissen, die sich dahin zusammenfassen lassen:

1. Die kleinste Elasticitätsachse der optisch zweiachsigen doppeltbrechenden Elemente geht radial und senkrecht zur Schichtung dahin.
2. Die grösste und mittlere liegen in einem Tangentenschnitte und sind gegen die Zellenachse geneigt.
3. Die grösste Elasticitätsachse folgt in der Regel für die secundären Verdickungsschichten dem Verlaufe der Spirale, in welcher diese abgelagert erscheinen (sei dies Verhältniss nun wirklich zu beobachten, oder aus dem Verlaufe der Porenspalten zu erschliessen), die mittlere steht senkrecht auf dieser Spirale und die Achsenebene liegt in einem mehr oder weniger zur Zellenachse geneigten Schnitte.
4. Die grösste Elasticitätsachse kann in einzelnen Fällen (Holzzellen von Abies pectinata) in den secundären Wandungen parallel der Zellenachse, die mittlere senkrecht zu ihr verlaufen, so dass die Achsenebene in den Radialschnitt fällt. In der primären Zellwand geht erstere völlig oder nahezu senkrecht, letztere ganz oder nahezu parallel mit der Zellenachse dahin, so dass die Achsenebene in den Querschnitt fällt.

Digitized by Google

5. **Die S. 258 u. f. beschriebene Bänderung äussert keinen Einfluss auf die Lage der Elasticitätsachsen.**

Literatur: Die betreffenden Abschnitte aus den unter 1. (Parenchymzellen) angeführten Werken.

Th. Hartig: In Bot. Zeitung 1848, 1853 u. 1859.

Schacht: Ueber eigenthümliche Erscheinungen in den Verdickungsschichten. Bot. Zeitung 1850, S. 697 u. f.

Sanio: Einige Bemerkungen etc. Ueber die tertiäre Verdickungsschicht der Holzzellen. Bot. Zeitung 1860, Nr. 23.

C. Sanio: 1. Vergleichende Untersuchungen über die Elementarorgane des Holzkörpers. Bot. Zeitung 1863, Nr. 13 u. f. II. Bastfaserähnliches System. 2. Anatomie der gemeinen Kiefer in Pringsh. Jahrb., Bd. IX, ferner die S. 191 genannten Schriften.

Schacht: Ueber die Veränderungen durch Pilze in abgestorbenen Pflanzenzellen. Pringsh. Jahrb., Bd. III, Heft III, 1863.

Russow: Zur Kenntniss des Holzes, insbesondere des Coniferenholzes in Bot. Centralbl., Bd. XIII, S. 29.

G. Krabbe: Ein Beitrag zur Kenntniss der Structur und des Wachsthums vegetabilischer Zellhäute in Pringsh. Jahrb., Bd. XVIII, S. 346, 1887.

Correns: a. a. O. und: Ueber die Querlamellirung der Bastzellmembranen. Ber. d. d. bot. Gesellsch., Bd. XI, S. 410, 1893.

III. Röhrenzellen.

1. Holzröhren.

Die Röhrenzellen treten, wie die vorhergehenden, in grösserer Anzahl nur in dem Gefässbündel, ausserdem vereinzelt in der Rinde oder dem Marke auf und gehören innerhalb des ersteren theils dessen Holztheil (Gefässe der Autoren), theils dessen Basttheil (Siebröhren, Gitterzellen) an.

Die Gestalt dieser Elementarorgane ist in der Regel eine walzenförmige, seltener eine kantensäulige (prismatische), wobei die Längendimension über die beiden anderen bald sehr bedeutend, bald nur wenig überwiegt. Von den gestreckten Parenchym- und den Faserzellen unterscheiden sich die Röhren- oder Gefässzellen wesentlich dadurch, dass ihre horizontalen bis minder oder mehr geneigten Querscheidewände einen von jener der Längswände meist deutlich zu unterscheidenden Bau besitzen und nur so lange erhalten bleiben, als die Zellen noch Säfte führen, dagegen durchbrochen werden, sobald Luft als deren Inhalt auftritt.

Die Durchbrechung der Querscheidewände erfolgt auf verschiedene Weise. Bei solchen Gefässzellen des Holzbündels, wo die Querwände horizontal stehen oder doch nur wenig geneigt sind, wird die Durchbrechung meistens mittelst eines grossen, schmal behöften Porus bewerkstelligt, so bei Quercus, Fagus, Fraxinus, Carica, Datura u. a. (Fig. 182, S. 279) und erscheint nur selten netzförmig durchbrochen, wie

Digitized by Google

bei Pteris aquilina (Fig. 176, IV). Nehmen die Scheidewände eine mehr geneigte Lage an, so trifft man, wo nicht ein einfacher grosser Porus auftritt, entweder runde (Ephedra) (Fig. 176, I), oder längliche Poren

Fig. 176.

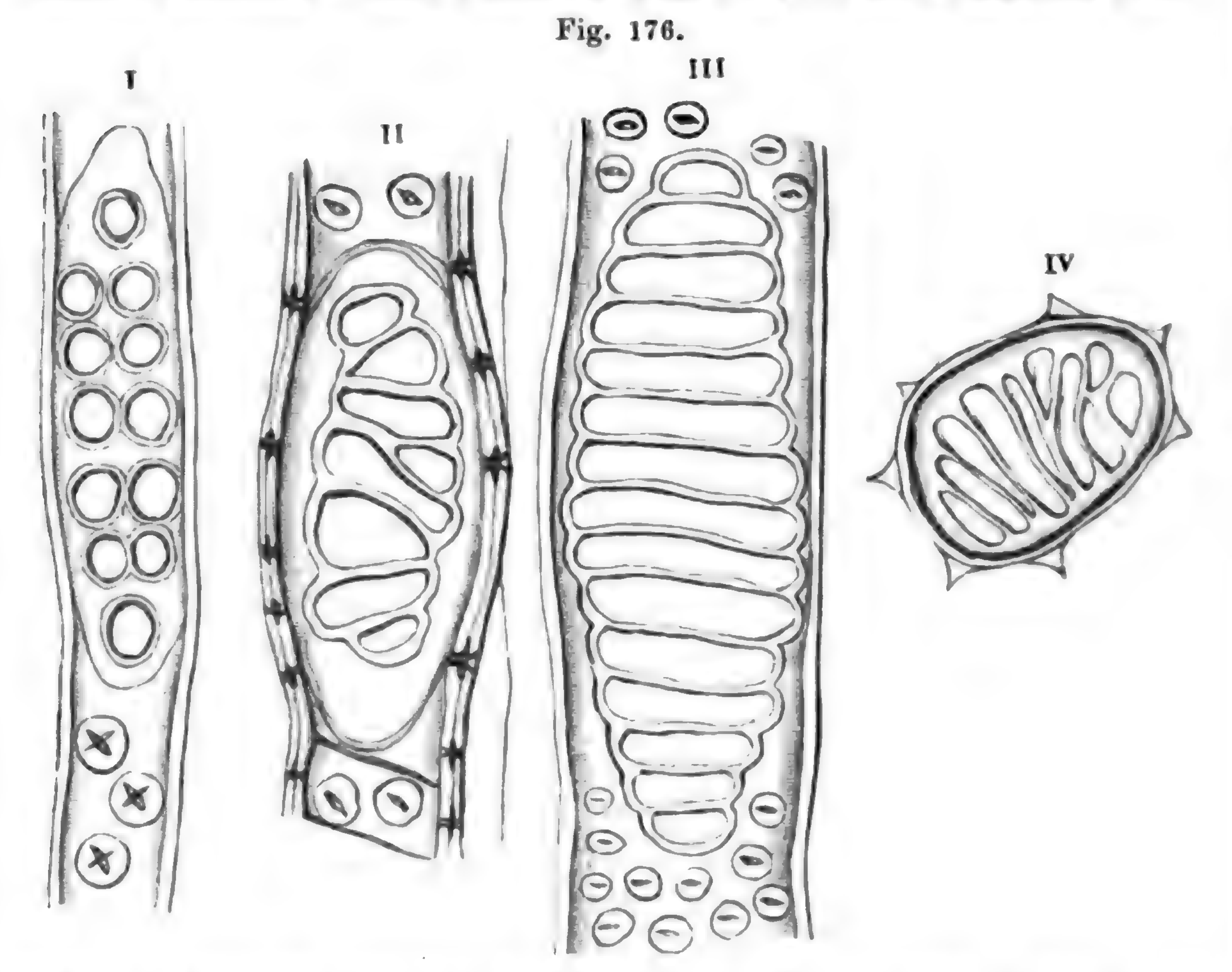


Fig. 176. Verschiedene Durchbrechung der Gefässscheidewände. I aus dem Längsschnitt von Ephedra distycha (porös). II desgleichen von Lonicera caprifolium (netzförmig). III desgleichen von Betula alba (leiterförmig). IV aus dem Querschnitte durch ein Gefäss von Pteris aquilina mit horizontaler, netzförmig durchbrochener Scheidewand. Vergr. 1 : 400.

(Lonicera, Viburnum, Corylus, Carpinus etc.) als sogenannte netz- und leiterförmige Durchbrechung (Fig. 176, II u. III).

Je nach der auf der Längsansicht zu beobachtenden Gestaltung der Verdickungsschichten ihrer Zellwand, welche indessen fast niemals eine so bedeutende Stärke erreichen, wie es bei manchen Faserzellen der Fall, unterscheidet man verschiedene Formen der Röhrenzellen, welche unter den Namen Ringgefässe, Spiralgefässe, Netzgefässe, poröse Gefässe, Treppengefässe, Siebröhren bekannt sind.

Bei allen diesen Formen, mit Ausnahme der Siebröhren, erfolgt die Verholzung sämmtlicher Wandschichten schon sehr früh, und zwar meist vor derjenigen der übrigen sie umgebenden Zellenarten. Ueber diese Verhältnisse gewähren namentlich dünne Querschnitte, welche mit Zell- und Holzstoffreagentien oder einer der schon öfter genannten Färbeflüssigkeiten behandelt wurden, besonders aber auch Doppelfärbungen, z. B. mittelst Hämatoxylin und Methyl-, Jod- oder Malachitgrün, Cyanin oder Gentianaviolett und Eosin, recht lehrreiche Bilder.

Digitized by Google

Ringförmig verdickte Röhrenzellen. — Die ringförmig verdickten Röhrenzellen (Fig. 177) bilden die Ringgefässzellen oder Ringgefässe in der Markscheide der Gymnospermen und Dikotyledonen; sie finden sich ferner als älteste vor den Spiralgefässen in den Gefässbündeln der Monokotyledonen und fehlen auch jenen der Gefässkryptogamen nicht. In der Markscheide des dikotyledonen Gefässbündels sind sie meistens sehr eng und von bedeutender Länge. Weitere Ringgefässe trifft man in dem Stengel der krautartigen Gewächse (Balsamine u. s. w.), sowie in dem Gefässbündel der Monokotyledonen (Phragmites, Calamus, Zea u. s. w.). Die bald in weiteren (Fig. 177, I), bald in geringeren Abständen (Fig. 177, II) auftretenden Verdickungsringe sind in den ersteren von geringerer Mächtigkeit, dagegen erreichen sie in den Ringzellen der Monokotyledonen, der Balsamine u. s. w. eine bedeutende Dicke und lassen häufig mit voller Bestimmtheit eine Verschiedenheit im Lichtbrechungsvermögen der primären Wand, secundären Verdickung und Innenwand (tertiären Schicht, Grenzhäutchen) erkennen, wie dies schon auf S. 163 hervorgehoben worden ist. Die Form dieser Röhrenzellen ist bald eine rein cylindrische, bald erscheinen sie bei den sogenannten rosenkranzförmigen Gefässen zwischen je zwei Ringen tonnenförmig erweitert (Fig. 81, V, S. 148).

Fig. 177.

Fig. 177. Ringförmig verdickte Röhrenzellen. I von Balsamina hortensis mit sehr weit abstehenden Ringen. II von Phragmites communis, a mit weiter abstehenden, b mit sehr genäherten Ringen. Vergr. 1 : 400.

Spiralförmig verdickte Röhrenzellen. — Die spiralförmig verdickten Röhrenzellen theilen mit den voranstehenden gleiches Vorkommen. In der Regel erscheinen sie in der Markscheide der Dikotyledonen in solcher Reihenfolge, dass am weitesten nach innen Zellen mit sehr weiten Windungen des Spiralbandes stehen, während weiter nach aussen die

Digitized by Google

Windungen immer enger werden. Hervorgerufen wird diese Verschiedenheit durch das Wachsthum des betreffenden Theiles der Gefässbündel. Wo dieses noch eine bedeutende Streckung erleidet, da rücken die Windungen während des Entwickelungsganges mehr und mehr aus einander, während sie in solchen Zellen, die ihre ursprüngliche Länge nahezu beibehalten, fast in ihrer anfänglichen Stellung verharren.

Die Richtung der Windungen ist in den meisten Fällen linksläufig, d. h. sie steigen von rechts nach links in die Höhe. Man trifft indessen auch häufig rechts gewundene, d. h. von links nach rechts aufsteigende Spiralbänder an.

Die Anzahl der Spiralbänder kann von einem einzigen bis zu zehn und mehreren steigen, wofür namentlich die Spiralgefässe der Dahlia-, Musa- und Canna-Arten u. s. w. schöne Beispiele liefern (Fig. 178).

Fig. 178.

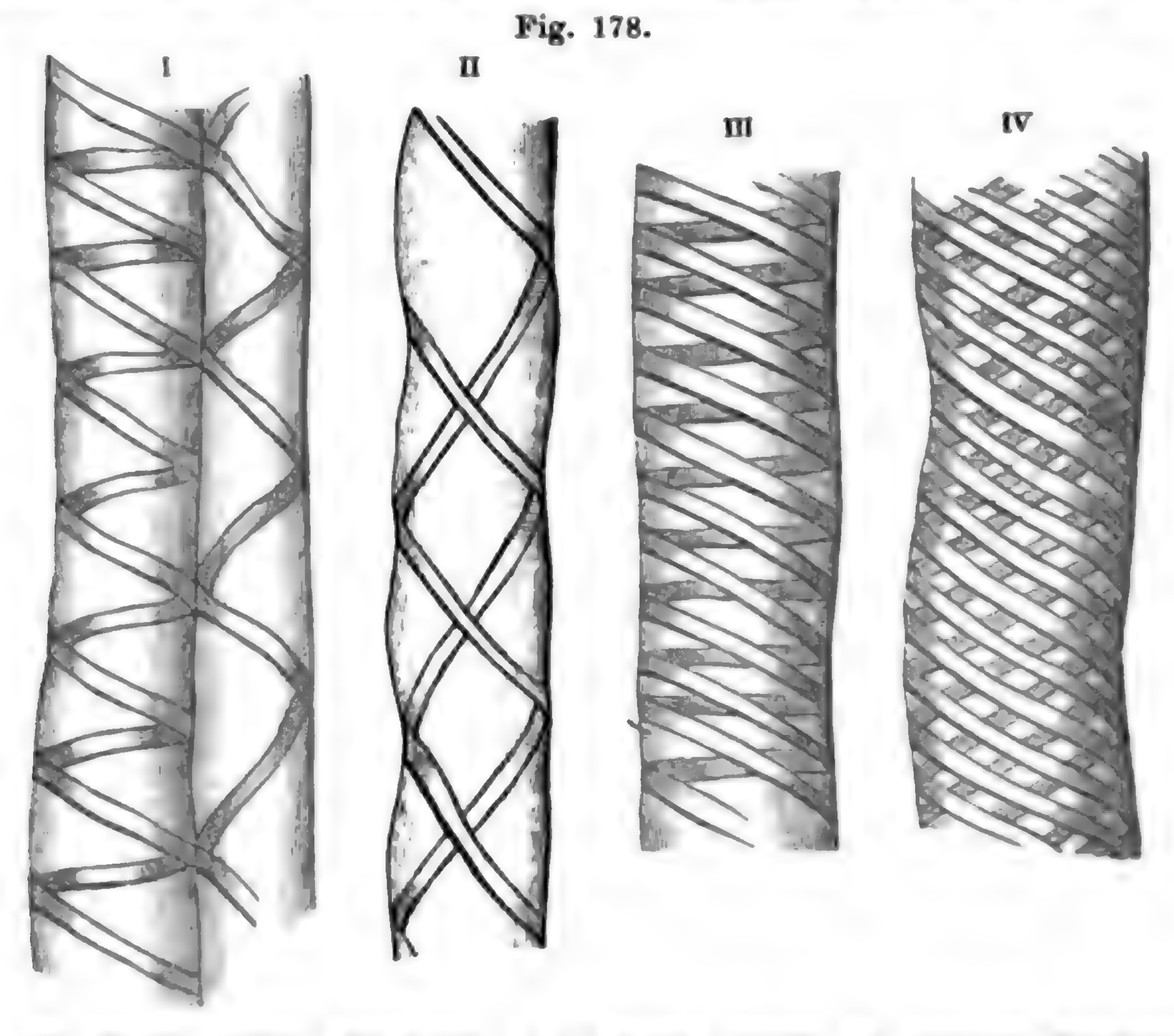


Fig. 178. Spiralig verdickte Röhrenzellen. I aus Dahlia variabilis, mit einfachem Spiralbande. II und III aus Balsamina hortensis, mit doppeltem Spiralbande. IV aus Dahlia mit sechs Spiralbändern. Vergr. 1 : 370.

Wo das Spiralband in ziemlicher Mächtigkeit entwickelt ist, wie bei Balsamina hortensis, Arundo donax, Phragmites communis, Calamus Rotang u. a., da erkennt man ebenso, wie bei den Ringzellen, deutlich dessen Zusammensetzung aus verschieden lichtbrechenden Schichten (Fig. 82, IV, S. 149).

Uebergänge der spiraligen Verdickung in die ringförmige findet man nicht selten, und zwar in ein und derselben Zelle, so dass ein Theil

Digitized by Google

Ringe der anderen Spiralränder enthält oder dass zwei auf einander folgende Ringe durch ein fast senkrecht aufsteigendes Spiralband mit einander verbunden sind (Fig. 81, IV, S. 148).

Auf die besonderen Formverhältnisse der Spiralbänder, namentlich was ihre Steigung betrifft, sind, wie wir dies auch bei den später zu betrachtenden Formen finden werden, die mit einander in Berührung stehenden Zellen sicher nicht ganz ohne Einfluss. So trifft man z. B. häufig auf Fälle, wo die Spirale in der Art entwickelt ist (Tradescantia, Arundo, Phragmites, Zea), dass sie an der einen Seite eine ziemlich steile Steigung besitzt, während sie an der anderen Seite fast horizontal oder nur sehr wenig steigend verläuft (Fig. 179).

Um sich über die Structur der Spiralröhren, namentlich auch über die Zahl der Spiralbänder Aufschluss zu verschaffen, sind neben zarten Längs- und Querschnitten vorzugsweise Macerationspräparate geeignet.

Fig. 179. Fig. 180.

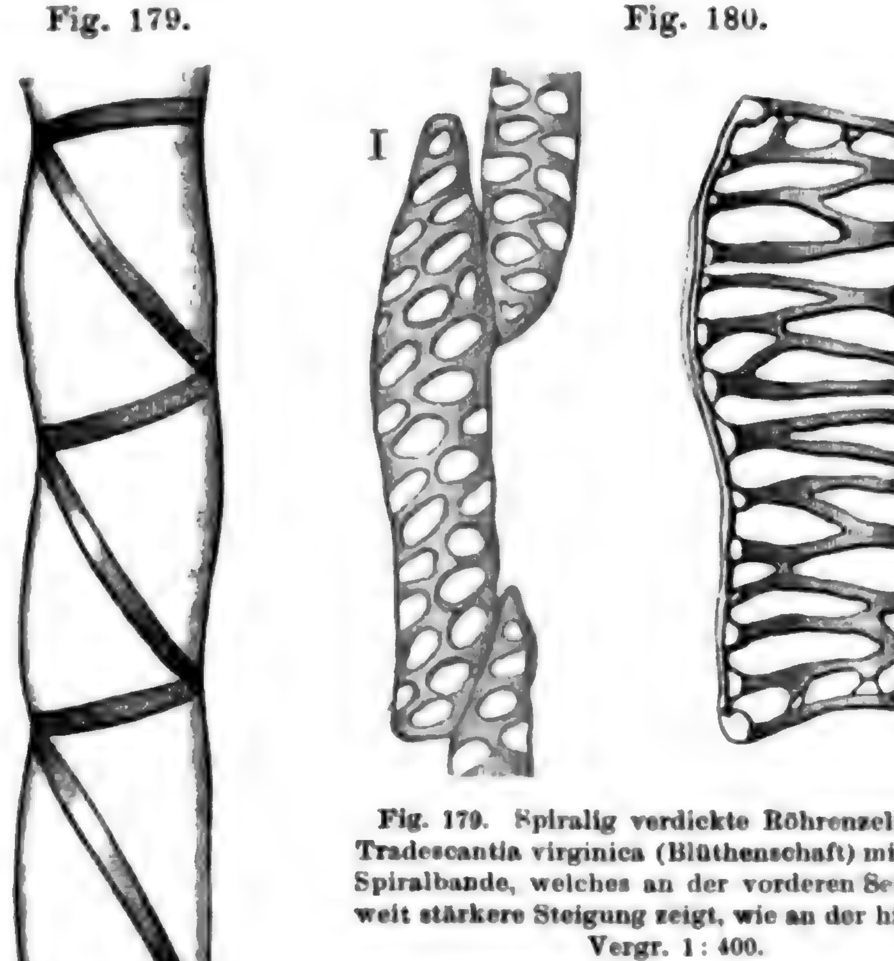


Fig. 179. Spiralig verdickte Röhrenzelle aus Tradescantia virginica (Blüthenschaft) mit einem Spiralbande, welches an der vorderen Seite eine weit stärkere Steigung zeigt, wie an der hinteren. Vergr. 1 : 400.

Fig. 180. Netzförmige Röhrenzellen. I aus dem Stengel von Cucurbita Pepo. II aus dem Astholze von Carica microcarpa, im Durchschnitt gesehen. Vergr. 1 : 400.

Netzförmig verdickte Röhrenzellen. — Netzförmig verdickte Röhrenzellen (Fig. 180) finden sich fast in allen Samenpflanzen; am schönsten jedoch in den krautartigen (Balsamine, Kürbis, Schöllkraut u. s. w.). Sie folgen im Alter auf die Spiralzellen, und stehen somit im Gefässbündel weiter nach aussen als diese. Da sie ihre Ausbildung zu einer Zeit erlangen, wo die Längenerstreckung des betreffen-

Digitized by Google

den Gewebetheiles auf ein sehr kleines Maass herabgesunken ist, oder ganz aufgehört hat, so sind diese Zellen in der Regel verhältnissmässig kurz, dagegen erlangen sie nicht selten eine bedeutende Weite. Auch hier trifft man häufig auf Uebergänge der Spiralzellen in netzförmig verdickte Zellen. Sehr schön sind dieselben in dem Stengel der Gartenbalsamine zu beobachten, wo überhaupt die netzförmig verdickten Röhrenzellen in den mannigfachsten Abänderungen auftreten.

Fig. 181.

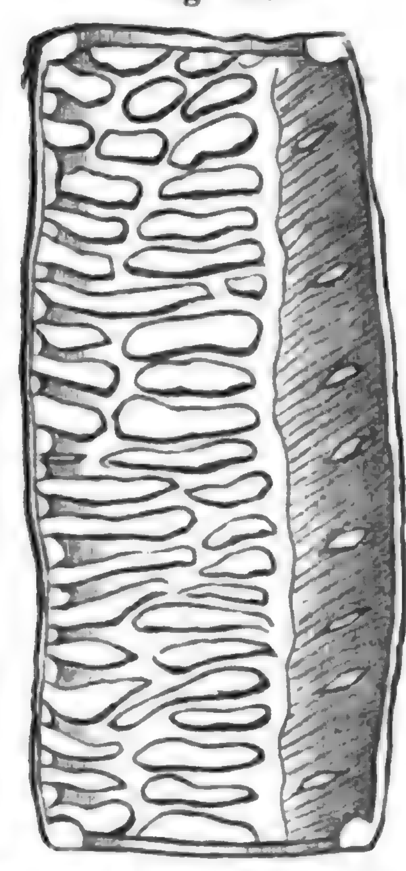


Fig. 181. Netzförmig verdickte Röhrenzelle von Impatiens nolitangere, welche da, wo sie an Holzzellen angrenzt, porös und feinspiralig gestreift erscheint. Vergr. 1 : 370.

Auch bei den netzförmig verdickten Röhrenzellen macht sich der Einfluss der mit ihnen in seitlicher Verbindung stehenden Elementarorgane geltend. So lässt sich namentlich bei den Balsaminen u. a. häufig beobachten, dass die mit netzförmigen Röhrenzellen in Berührung stehenden Seiten netzförmig verdickt sind, während die an spiralige Röhrenzellen anstossenden spiralig, die an poröse Faserzellen grenzenden porös verdickt und hier und da mit feinen spiraligen Streifen gezeichnet erscheinen (Fig. 181).

Für die Ausführung der Beobachtung gilt ganz dasselbe, was oben bei den Spiralröhrenzellen hervorgehoben wurde.

Poröse Röhrenzellen. — Die porösen Röhrenzellen (Fig. 182) haben unter allen die weiteste Verbreitung. Die Poren sind hier immer deutlich behöfte. Bald sind Poren und Höfe kreisrund, bald die ersteren spaltenförmig, bald erscheinen beide mehr oder minder stark in die Breite gezogen.

Die Weite der porösen Röhrenzellen wechselt je nach den Pflanzen und selbst in ein und derselben Pflanze bedeutend. Dieselbe ist in dem inneren Theile der Jahresringe (dem sogenannten Frühlingsholze) immer grösser, als in dem äusseren (dem sogenannten Herbstholze). Ebenso zeigt das Wurzelholz weitere Röhrenzellen, als das Stamm- und Astholz, so dass sich, z. B. bei der Ulme, der Robinie, der Eiche u. a. das Verhältniss ihres Durchmessers bei Wurzel-, Stamm- und Astholz als entschieden merkbar darstellt.

Die weitesten Röhrenzellen kommen unter unseren einheimischen dikotyledonen Gewächsen in dem Gefässbündel der Waldrebe, der Eiche, des Kürbis u. s. w. vor. Bei den einheimischen Monokotyledonen trifft man in je einem Gefässbündel meistens nur eine oder wenige weite Röhrenzellen, während sie bei den Gefässkryptogamen, namentlich den Farnkräutern, im Allgemeinen weit häufiger sind. Unter den tropischen Pflanzen sind es namentlich die Schlingpflanzen, sodann einige Palmen

Digitized by Google

(Calamus Rotang), welche ausserordentlich weite Röhrenzellen besitzen; ja diejenigen der letzteren Pflanze sind die weitesten, die ich bis jetzt beobachtet habe.

Rundbehöfte poröse Röhrenzellen. — Diese Röhrenzellen bilden den grösseren Theil der Dikotyledonen-Gefässe.

Die Poren sind, mögen die Röhrenzellen an behöfte oder unbehöfte poröse Zellen stossen, wie schon oben hervorgehoben, immer deutlich behöft. Die Breite des Hofes wechselt dagegen, je nach Bau der Poren der umgebenden Zellenformen. Anderweitigen Angaben muss ich in dieser Beziehung auf Grund sorgfältig angestellter und zahlreicher Beobachtungen an unseren einheimischen Pflanzen widersprechen.

Der Porus selbst ist bald spaltenförmig und dann horizontal (Cucurbita Pepo, Datura, Clematis) (Fig. 182, II) oder linksläufig, seltener

Fig. 182.

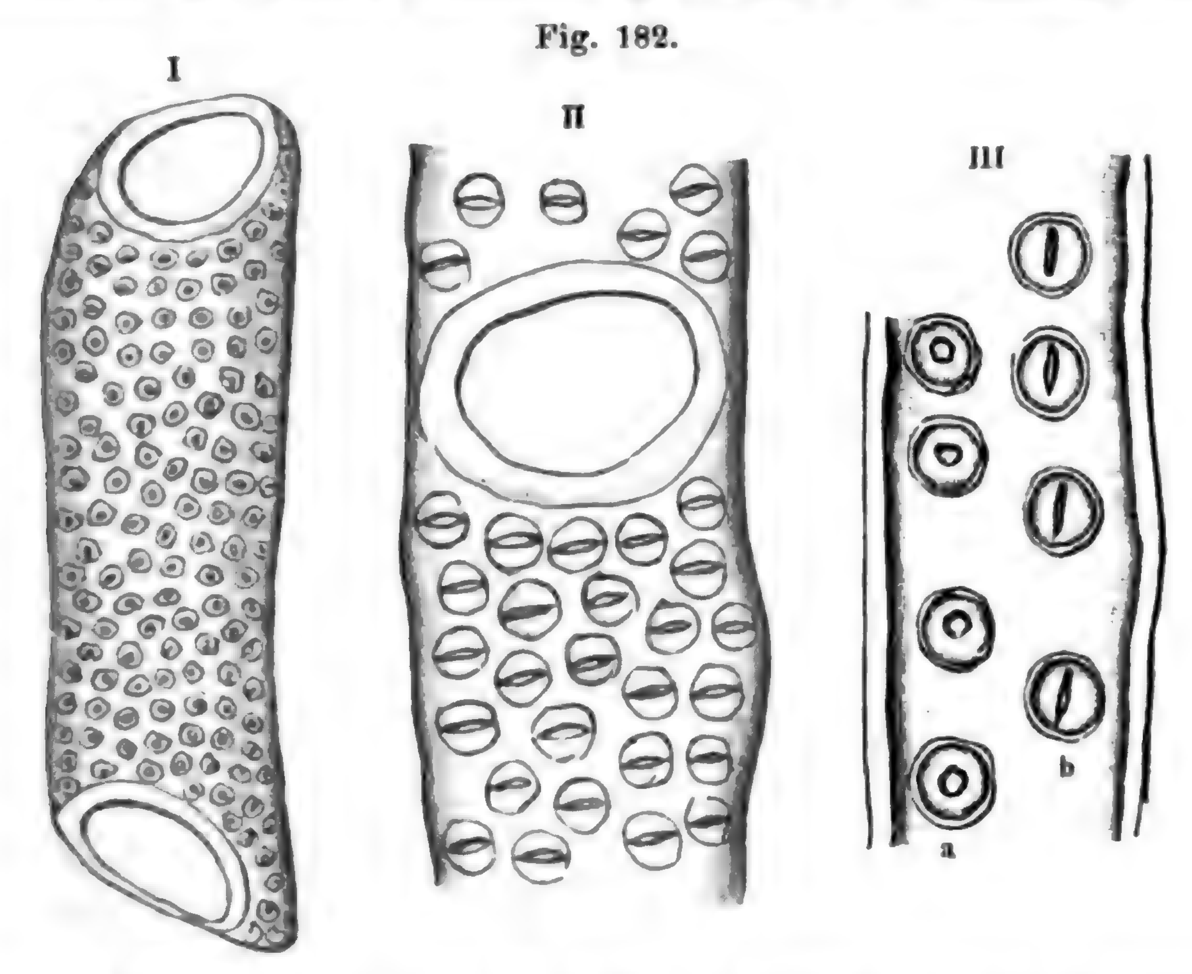


Fig. 182. Poröse Röhrenzellen. I aus dem Stengel von Phragmites communis mit zahlreichen kleinen behöften Poren. II aus dem Stamme von Brugmannsia suaveolens mit ziemlich grossen behöften, spaltenförmigen Poren. III aus Metteniusa sp. mit behöften Poren, bei *a* mit rundem, bei *b* (an Holzzellen grenzend) mit fast senkrecht stehendem spaltenförmigen Porencanal. Vergrösserung 1 : 400.

rechtsläufig ansteigend schief gestellt bis senkrecht (Fig. 182, III, b), bald erscheint derselbe kreisrund (Fig. 182, III, a). Auch trifft man häufig (Clematis) mehrere Poren von einem schmalen in die Breite gezogenen Hof umgeben.

Röhrenzellen mit in die Breite gezogenem Hofe, sogenannte Treppengefässe. — Die Röhrenzellen mit in die Breite gezogenen Poren

Digitized by Google

und Höfen (Fig. 183) hat man als treppenförmige bezeichnet. Man findet dieselben namentlich häufig in dem Gefässbündel der Gefässkryptogamen und Monokotyledonen. Sie treten aber auch, soweit meine eigenen Beobachtungen reichen, wenn auch mehr vereinzelt, fast in allen dikotyledonen Pflanzen auf. Aus dem Weinstock sind sie schon länger bekannt. Auch wurden sie schon von H. v. Mohl in der Markscheide der Zapfenbäume und Cycadeen beobachtet. Ich selbst habe seiner Zeit ihre weite Verbreitung in der ersteren Familie nachgewiesen. Von den übrigen Dikotyledonen zeigen sie namentlich die krautartigen Gewächse (Balsamine, Kürbis, Schöllkraut, Mohn, Kapuzinerkresse u. s. w.) sehr schön, ebenso aber auch manche Holzgewächse (Ficus, Lonicera, Viburnum, Daphne u. s. w.).

Fig. 183.

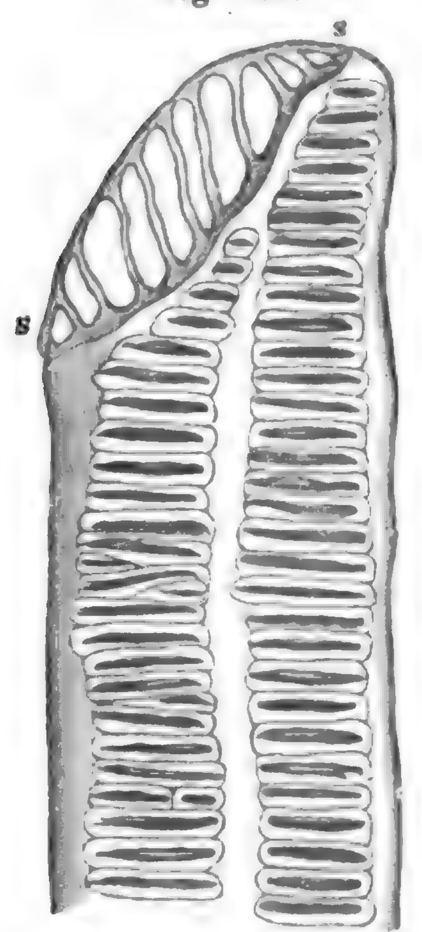


Fig. 183. Theil eines sogenannten Treppengefässes von Pteris aquilina. ss die netzförmig durchbrochene Querscheidewand. Vergr. 1 : 370.

Die senkrecht offene Verbindung dieser Zellen wird bald durch einen einzigen grossen Poren (Alsophila, Zea, Phragmites, Fig. 182, I u. II, a. v. S.) bewirkt, bald ist sie eine netz- bis leiterförmige, so namentlich bei der Mehrzahl der Gefässkryptogamen, bei vielen Monokotyledonen und den meisten jener Dikotyledonen, welche sehr steil ansteigende Querwände besitzen (Lonicera, Vitis, Viburnum u. a., Fig. 176, S. 274, und Fig. 183). Bei der Weisstanne habe ich in der Markscheide des Wurzelholzes dieselben hier und da mit nahezu horizontalen Scheidewänden angetroffen, welche einen grösseren oder zwei kleinere offene, behöfte Poren zeigten, die jenen der Holzfasern gleichen. Dies Verhältniss findet sich indessen manchmal auch bei den ihnen zunächst stehenden Holzzellen.

Bei den Monokotyledonen und Gefässkryptogamen sind auch die Querwände der treppenförmigen Röhrenzellen häufig so sehr in die Länge gezogen, dass letztere gleichsam zugespitzt erscheinen, und erkennt man sie dann nicht immer mit so deutlich von der Längswand verschiedener Configuration versehen, wie man es sonst beobachtet. Dennoch gehören diese Elementarorgane auch hier — schon der Analogie halber — unzweifelhaft zu den wahren Röhren-(Gefäss-)zellen und man braucht aus denselben keineswegs eine mit eigenem Namen zu belegende Uebergangsstufe zu den Faserzellen zu bilden.

Wo die Wandungen dieser Röhrenzellen an die Wände gleicher Zellen anstossen, da sind die Poren und Höfe immer in die Breite gedehnt, wo dagegen poröse Faserzellen oder auch Parenchymzellen mit ihnen verwachsen sind, da treten runde oder spaltenförmige Poren mit mehr kreisförmigen Höfen auf.

Digitized by Google

Spiralig-poröse und netzförmig-poröse Röhrenzellen. — Eine eigene Modification der porösen Röhrenzellen bilden die sogenannten gemischten Gefässzellen, wo neben der porösen noch eine spiral- oder netzförmige Verdickung vorkommt, wie dies bei der Linde, der Hainbuche, dem Schneeball, Weinstock, Geisblatt u. s. w. der Fall ist. Diese letztere Verdickung besteht hier immer aus einem schmalen Bande, Fig. 184, welches eine der Steigung der spaltenförmigen Poren entgegengesetzte Steigung zeigt. Während jene z. B. linksläufig ist, ist diese rechtsläufig und (seltener) umgekehrt.

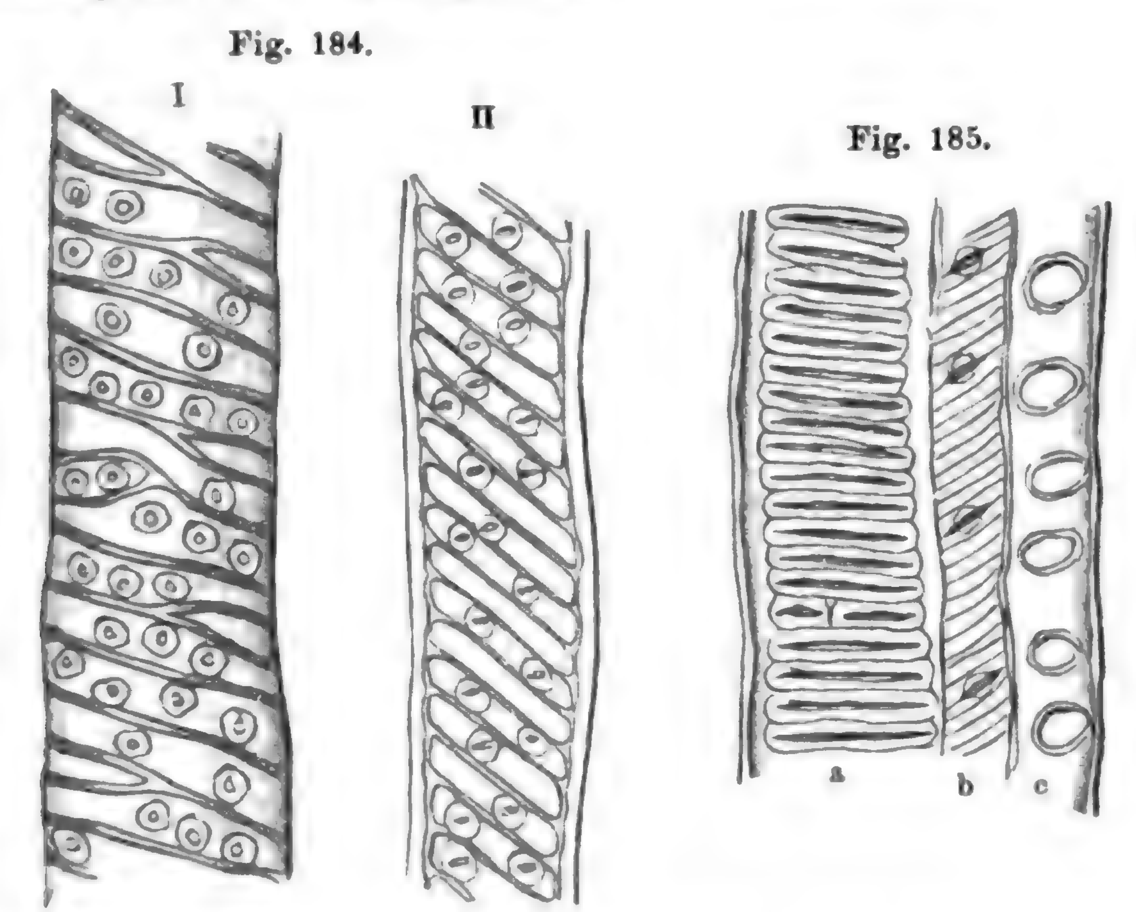


Fig. 184. Netzförmig-poröse und spiralig-poröse Röhrenzelle. I von *Tilia platyphyllos*. II von *Cestrum aurantiacum*. Vergr. 1 : 400. — Fig. 185. Theil einer Gefässzelle von *Vitis vinifera*, welche an den drei Stellen *a*, *b* und *c* verschiedene poröse Verdickungsformen zeigt, je nachdem dieselbe an Gefässzellen, Holzzellen oder Holzparenchymzellen grenzt. Vergr. 1 : 400.

Einfluss benachbarter Gewebeelemente auf den Bau der Zellwand. — Der Einfluss der benachbarten Elementarorgane macht sich bei den porösen Röhrenzellen auf das Allerentschiedenste kenntlich, und hat man bei deren Untersuchung hierauf sein Augenmerk zu richten. Wo dieselben an kleinporige Parenchymzellen grenzen, da nehmen die Höfe oft an Weite bedeutend ab und ändern ihre Form vom Kreisförmigen in das Länglichrunde. In gleicher Weise nimmt deren Grösse ab, wo sie an unbehöfte oder kleiner behöfte Faserzellen angrenzen (Fig. 185). Auch auf die Anzahl der Poren selbst hat dieser Umstand Einfluss, indem dieselbe mit der Anzahl der Poren auf den Wänden der angrenzenden Zellen in Uebereinstimmung steht. Auf die mannigfachen Verschiedenheiten in dieser Beziehung kann hier natürlich nicht ausführlich eingegangen und muss einestheils auf den folgenden Abschnitt

Digitized by Google

hingewiesen, anderentheils die Ermittelung der betreffenden Thatsachen der eigenen Beobachtung empfohlen werden. Zahlreiche Beiträge für diese Organisationsverhältnisse hat seiner Zeit Sanio geliefert.

Die Zellwand der porösen Röhrenzellen ist in der Regel im Verhältniss zu deren Lumen nicht bedeutend verdickt. Eine stärkere Verdickung beobachtet man namentlich bei den engeren Gefässen der Esche, des Oleanders, des Kürbis. Ihre Verholzung durch alle Schichten erfolgt, wie bereits erwähnt, in der Regel sehr bald und in hohem Maasse, so dass schon die Wände verhältnissmässig noch sehr junger Röhrenzellen, mit Ausnahme der Innenwand (Grenzhäutchen, Strassburger), durch Chlorzinkjodlösung gelb, durch die übrigen die Verholzung anzeigenden Mittel in der bekannten Weise gefärbt werden. Erst nach vorbereitender Behandlung mittelst der schon öfter genannten chemischen Mittel tritt in allen Verdickungsschichten die Reaction auf Zellstoff hervor.

Zur Beobachtung der Form und des feineren Baues ausgebildeter poröser Röhrenzellen sind die drei Arten der Schnitte nicht ausreichend. Obwohl der Querschnitt und die beiden Längsschnitte über den Bau der Poren hinreichenden Aufschluss zu gewähren vermögen und auch die Durchbrechung der Querscheidewände (für die leiterförmig durchbrochenen ist der Radialschnitt vorzugsweise geeignet) erkennen lassen, so genügen sie doch zum Studium der Gestalt überhaupt, wie der Formverhältnisse in dem feineren Bau der Seitenwände nach verschiedenen Seiten nicht vollständig, und es müssen denselben Macerationspräparate zur Seite treten.

2. Siebröhren.

Die siebförmig-porösen Röhrenzellen, „Siebröhren“ (Hartig), „Gitterzellen“ (von Mohl), von denen Fig. 186 die verschiedenen Grundformen zeigt, finden sich fast ausnahmslos nur in dem Basttheile des Gefässbündels an und treten daselbst in der kennzeichnenden Ausbildung bei den Gefässkryptogamen, Monokotyledonen, Gymnospermen und Dikotyledonen auf. Nur in vereinzelten Fällen ist diese Zellenform entweder vereinzelt oder in kleineren Gruppen in anderen Geweben gefunden worden. Ihre Weite ist, mit Ausnahme jener aus einigen tropischen Farnkräutern (Cyathea, Alsophila), niemals so bedeutend, wie diejenige der weiteren, netzförmigen und porösen Röhrenzellen in dem inneren Theile der Jahresringe der dikotylen Holzarten, oder in dem Gefässbündel der Monokotyledonen und Gefässkryptogamen.

Die Querscheidewände, welche die weiter oben (S. 181 u. f.) besprochene, schon in der ersten Jugend auftretende, später zeitweise wechselnde, im Alter meist ganz schwindende Bildung beobachten lassen, besitzen bald eine horizontale, bald eine mehr oder minder, und zwar bei den Dikotylen, nach der Seite der Markstrahlen geneigte

Digitized by Google

Stellung. Im ersteren Falle zeigen dieselben einen einzigen grossen Porus, dessen Schliesshaut von rundlichen oder vieleckigen Löchern durchbrochen wird, wodurch dieselbe das Ansehen eines Siebes oder

Fig. 186.

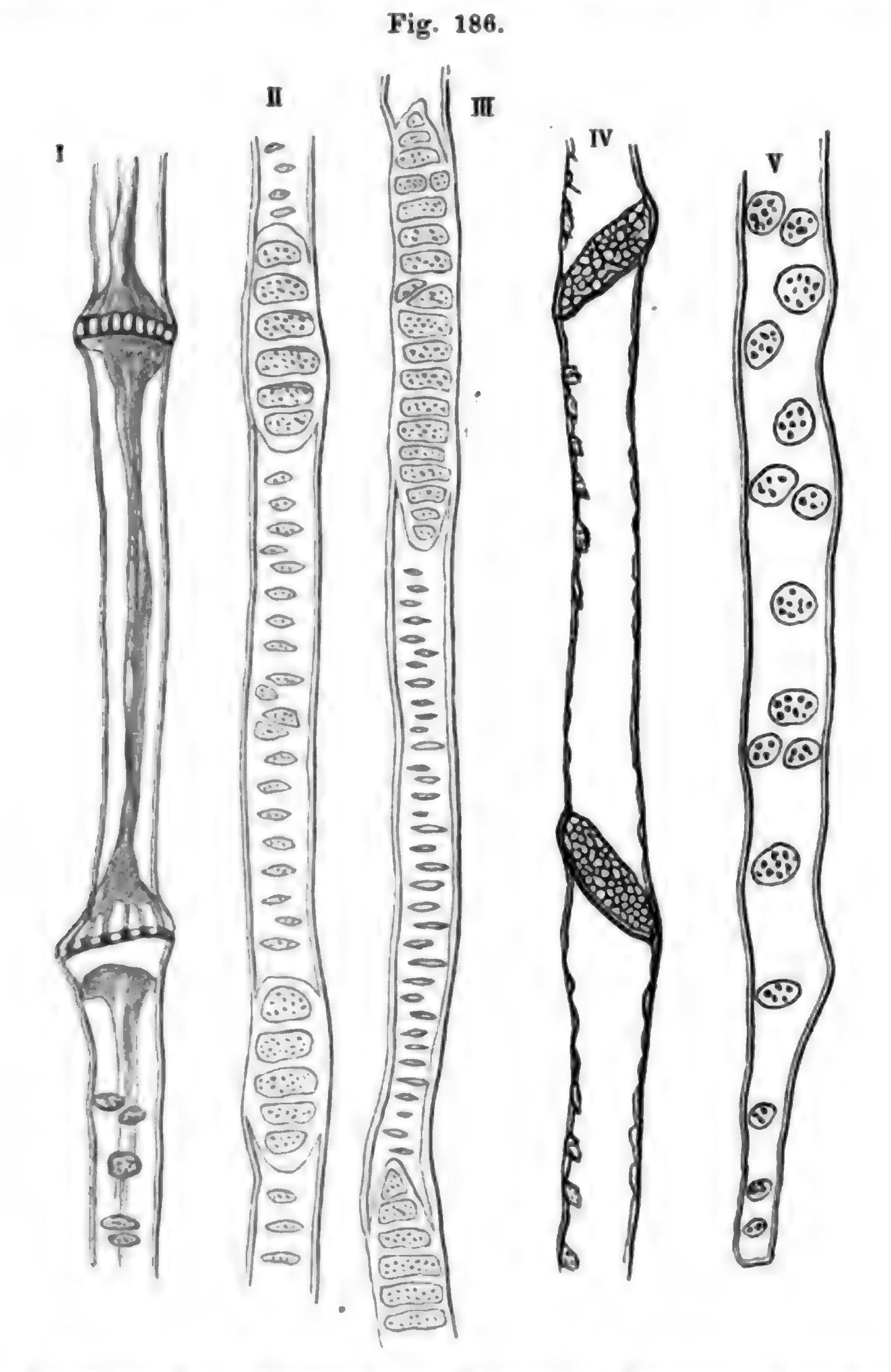
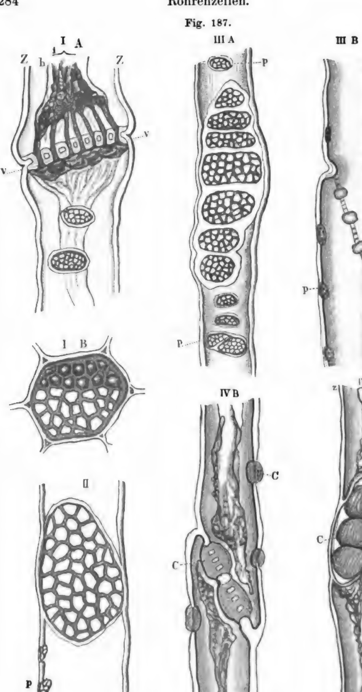


Fig. 186. Verschiedene Typen siebförmig-poröser Röhrenzellen (Siebröhren). I aus Bryonia alba mit horizontalen Scheidewänden. II aus Tilia platyphyllos. III aus Bignonia sp., mit geneigten, leiterförmigen Scheidewänden. IV aus Fagus sylvatica, mit geneigten, einfach siebförmig durchbrochenen Scheidewänden. V aus Larix europaea, mit holzzellenähnlicher Endigung. Vergr. 1 : 250.

Gitters erhält und als Siebplatte bezeichnet wird (Fig. 187, I, A und B, a. f. S.). Eine derartige Durchbrechung der Querwände tritt bei den betreffenden Zellen des Kürbis, der Zaunrübe, der Waldrebe, des

Digitized by Google

Fig. 187.



Google

Hopfens, der Georgine, des Schöllkrautes, der Zwiebel, der Musa, sowie der meisten krautartigen Di- und Monokotyledonen und der Equiseten auf. Sind die Querscheidewände geneigt, so zeigen sie, soweit ich bis jetzt beobachtet habe, mit Ausnahme der Buche, welche einen einzigen schiefstehenden grossen Siebporen besitzt (Fig. 187, II), eine ähnliche Structur, wie diejenigen der leiterförmig durchbrochenen porösen Röhrenzellen, wobei indessen die Schliesshäute der einzelnen grossen, querovalen Poren wiederum sieb- oder gitterartig durchbrochen, d. h. als Siebplatten ausgebildet sind (Pteris, Cyathea, Alsophila, Calamus, Caryota, Scheelea, Corypha, Sabal etc., Vitis, Bignonia, Tilia, Populus, Aesculus, Sorbus, Quercus u. s. w.) (Fig. 187, III). Bei den Nadelhölzern, sowie bei manchen Farnkräutern ähneln die Siebröhren in ihrer Form den Holzzellen und legen sich mit schiefen Enden an einander, die bis in die Spitze hin kleinere Siebporen zeigen (Fig. 186, V, S. 283).

Die Seitenwände dieser Zellenart sind in der Regel nur schwach oder mässig verdickt. Die verdünnten Stellen derselben bestehen entweder aus entfernter stehenden grösseren runden bis ovalen oder netzförmig angeordneten Siebporen (Fig. 188, I und II, a. f. S.), oder es erscheinen kleinere Siebporen zu jenen an Grösse etwa gleichen Gruppen, den sogenannten Siebfeldern, vereinigt, wobei erstere einfach neben einander gereiht (Fig. 188, III) oder von einem deutlich erkennbaren, gemeinschaftlichen schmalen Hof umrahmt (Fig. 188, IV) sein können. Bei allen diesen Siebporen erscheinen gleichfalls die oben erwähnten callosen Bildungen (Fig. 188, V).

Da die siebporigen Röhrenzellen in bestimmter Ordnung zwischen den übrigen Gewebeelementen des Bastes vertheilt sind, so lassen sich in Bezug auf die Gestaltung der Verdickung ihrer Wandungen mancherlei Verschiedenheiten beobachten. Wo dieselben in tangentialen einfachen, concentrischen Reihen mit bastfaser- oder glattwandigen Parenchymzellen abwechseln, da erscheinen nur die radialen, nach der Seite der Markstrahlen gewendeten Seitenwände, welche mit gleichartigen Elementarorganen zusammenstossen, in der geschilderten Weise mit siebförmigen Poren besetzt, so z. B. bei den Cupressineen, bei Pirus in der Regel (doch trifft man hier und da auch radial hinter einander stehende Baströhren, und dann zeigen deren Zellen auch nach der Mark- und Rindenseite hin Siebporen). Bilden die Röhrenzellen dagegen, wie bei der Linde, der Wallnuss, der Weisstanne, mehrfache tangentiale Reihen oder ziemlich isodiometrische Gruppen, so dass ihre Wände allseitig an ein-

Fig. 187. Verschiedener Bau der Querscheidewände. I aus Cucurbita Pepo; *A* im Längsschnitt, *z* die Zellwand, *h* die Zellhaut, *cc* die eigenthümliche Verdickung (Callus), welche sich bei älteren Zellen immer findet, *i* der Inhalt, welcher zusammengefallen ist und sich in Form von Strängen in die Löcher der Querscheidewand hineinzieht; *B* im Querschnitt, im oberen Theile mit dem Callus, welcher sich in Form von warzenförmigen Erhebungen darstellt; im unteren Theile frei. II aus Fagus sylvatica, bei *p* Theile der auf den tangentialen Wandungen vorkommenden Siebporen. III aus Tilia vulgaris; *A* Radialschnitt, *B* Tangentialschnitt; bei *p* die Siebporen der radialen Seitenwand. IV aus Vitis vinifera mit Callus (*C*); *A* Radialschnitt, *B* Tangentialschnitt. Vergr. 1 : 660.

Digitized by Google

ander grenzen, oder berühren diese die Wände porösen Parenchyms, so sind sowohl die nach Mark und Rinde, als die nach den Markstrahlen gewendeten Seitenwände mit Siebporen versehen. Kommen dieselben

Fig. 156.

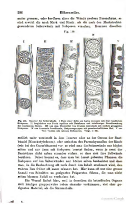


Fig. 156. Structur der Seitenwände. I Theil einer Zelle aus Larix europaea mit drei rundlichen Siebporen. II desgleichen aus Pteris aquilina mit Netzfasern und siebförmiger Durchbrechung der verdünnten Stellen. III aus dem Weichbast von Cycas revoluta mit einfach gruppirten Siebporen. IV aus Araucaria brasiliensis, Siebporengruppen mit gemeinschaftlichem Hof. V aus Vitis vinifera mit callosen Siebplatten. Vergr. 1 : 380.

endlich mehr vereinzelt in dem Inneren oder an der Grenze der Bastbündel (Monokotyledonen), oder zwischen den Parenchymzellen der Rinde (wie bei den Cucurbitaceen) vor, so wird man die Seitenwände nur höchst selten und nur dann mit Siebporen besetzt finden, wenn je zwei der Baströhren dicht neben einander stehen, so dass sich ihre Zellwände berühren. Daher kommt es, dass man bei derart gebauten Pflanzen die Siebporen auf den Seitenwänden nur höchst selten beobachtet und dass man, da die Beobachtung oft noch durch den Inhalt erschwert wird, den wahren Bau früher oft kaum erkannt hat. Hier kann oft nur eine grosse Anzahl von Schnitten zu geeigneten Präparaten führen, die man nicht selten blossem Zufall zu verdanken hat.

Die Wurzel liefert hier, weil in derselben die betreffenden Organe weit häufiger gruppenweise neben einander vorkommen, viel eher geeignetes Material, als die Stammtheile.

Digitized by Google

Die Länge der Siebröhrenzellen stimmt in den meisten Fällen nahezu mit jener der sie umgebenden Faserzellen überein und übertrifft diejenigen der mit ihnen wechselnden gestreckten Parenchymzellen um das Doppelte bis Mehrfache.

Die Zellwand der Siebröhrenzellen verholzt meinen Erfahrungen nach gar nicht, oder nur in so geringem Grade, dass Chlorzinkjod, Jod und Schwefelsäure nach längerer Einwirkung, ebenso die übrigen färbenden Mittel immer eine Reaction auf Zellstoff hervorrufen.

Von dem Zellstoffbestande der Siebplatten lässt sich die callose zeitweise Verdickung leicht durch ihr chemisches Verhalten unterscheiden. Die gebräuchliche Chlorzinkjodlösung färbt dieselbe nicht, macht sie aber stark aufquellen und bringt sie nach und nach zur mehr oder minder vollständigen Lösung. Versetzt man dagegen das Reagens mit einer gleichen Menge einer zur Hälfte mit Wasser verdünnten Jod-Jodkaliumlösung, dann ertheilt es den Callusplatten eine braunrothe Färbung. Anilinblau färbt den Callus hellblau, während die Zellstoffwände ungefärbt bleiben. Die Lösung von Corallin in Soda färbt jenen rosen- bis hyacinthroth, während die letzteren eine gelbrothe Färbung erkennen lassen.

Zur Untersuchung der siebförmig-porösen Röhrenzellen, zu der man am besten in Alkohol aufbewahrtes Material verwendet, eignen sich Schnitte besser, als Macerationspräparate, welche die betreffenden Organe zu sehr aufhellen, obwohl man letztere nicht bei Seite lassen darf. Die ersteren sind jedoch ziemlich schwer anzufertigen und müssen zur genauen Kenntniss der Einzelheiten von äusserster Zartheit sein. Zur Beobachtung der Durchbrechung horizontaler Querscheidewände wird man feine Querschnitte, zu einer solchen der geneigten dagegen radiale und tangentiale Längsschnitte fertigen müssen. Für die Untersuchung der Siebporen auf den Seitenwänden werden je nach der Anordnung der Bastgefässe bald radiale, bald tangentiale Längsschnitte am besten zum Ziele führen. Will man sich von dem Zusammenhang der Zellkörper über einander stehender Siebröhrenelemente, d. h. von der thatsächlichen Durchbrechung der Querscheidewände überzeugen, so behandelt man gelungene Längsschnitte mit concentrirter Schwefelsäure. Es bleiben dann nach Lösung der Zellwände die Zellkörper zurück, und man erkennt leicht, dass dieselben mittelst feiner Stränge, welche im Leben die feinen Poren durchsetzt hatten, in Verbindung stehen.

3. Milchröhren.

Die Milchröhren, Milchsaftröhren, Milchsaftgefässe (Lebenssaftgefässe älterer Autoren) haben nur eine beschränkte Verbreitung, und es finden sich dieselben namentlich in den Familien der Aroideen, Musaceen, Urticaceen (Moreen, Artocarpeen), Compositen (Cichoriaceen),

Digitized by Google

Fig. 189.

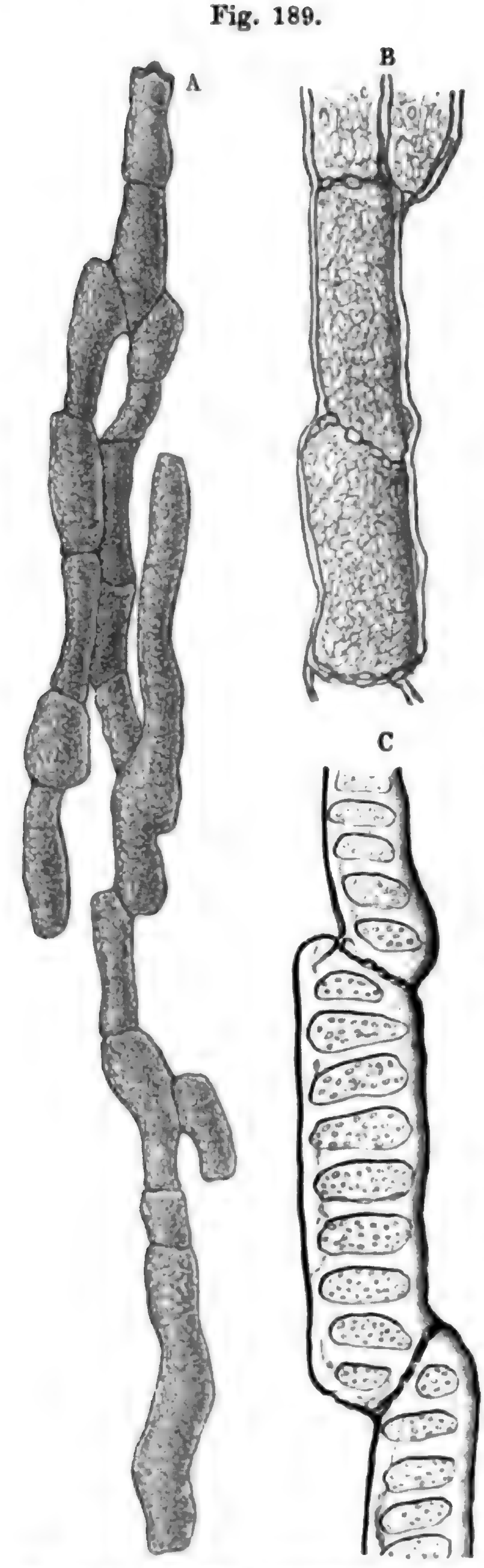


Fig. 189. Gegliederte Milchröhren aus der Wurzel von Chelidonium majus. *A* ein gegliederter, gegabelter Strang. *B* Milchröhren mit durchbrochenen Querscheidewänden. *C* mit Poren auf den Seitenwänden. Vergr. *A* 1 : 200, *B* u. *C* 1 : 500.

Campanulaceen, Lobeliaceen, Apocyneen, Asclepiadeen, Euphorbiaceen, Papayaceen, Papaveraceen. Dieselben treten sowohl in dem Basttheile des Gefässbündels, als in Rinde und Mark, seltener innerhalb des Holzkörpers (Papayaceen) auf, und lässt sich zum mindesten in vielen Fällen eine Verbindung der an ersterem Orte vorkommenden mit den an den letzteren Stellen zu beobachtenden nachweisen.

Man unterscheidet gegliederte und ungegliederte Milchröhren.

Gegliederte Milchröhren. — Die gegliederten Milchröhren, welche in milchsaftführenden Gattungen und Arten der Aroideen, Musaceen, Cichoriaceen, Campanulaceen, Lobeliaceen, Papayaceen und Papaveraceen auftreten, lassen deutlich ihre Entstehung aus mit einander verschmolzenen Röhrenzellen erkennen (Fig. 189). Bei manchen derselben, wie z. B. bei denen von Chelidonium u. a., trifft man, wie ich zuerst a. a. O. nachgewiesen habe, häufig noch vollständig erhaltene, siebförmig durchbrochene Querscheidewände (Fig. 189), und ebenso auf den Längswänden in einzelnen Fällen ausgebildete Siebporen oder deren Ueberreste in Form von grösseren oder kleineren offenen Poren (u. a. auch bei Cichoriaceen und Papayaceen), und es bleibt nicht zweifelhaft, dass sie aus Siebröhrenelementen entstanden sind. Bei anderen ist allerdings ein derartiger Bau der Querwände nicht mehr zu erkennen, und es erscheint die senkrechte Verbindung durch ein einfaches Loch hergestellt, während zugleich die Längswände keine Poren zeigen, so dass man auf eine Verschmelzung glattwandiger Röhrenzellen schliessen muss.

Digitized by Google

Die gegliederten Milchröhren sind zum Theil einfache und zeigen nur insofern eine Gabelung, als sich an dem oberen oder unteren Ende eines Elementes keilförmige Endigungen mit auf jeder Keilfläche auftretenden Poren finden und mit diesen dann zwei darüber oder darunter

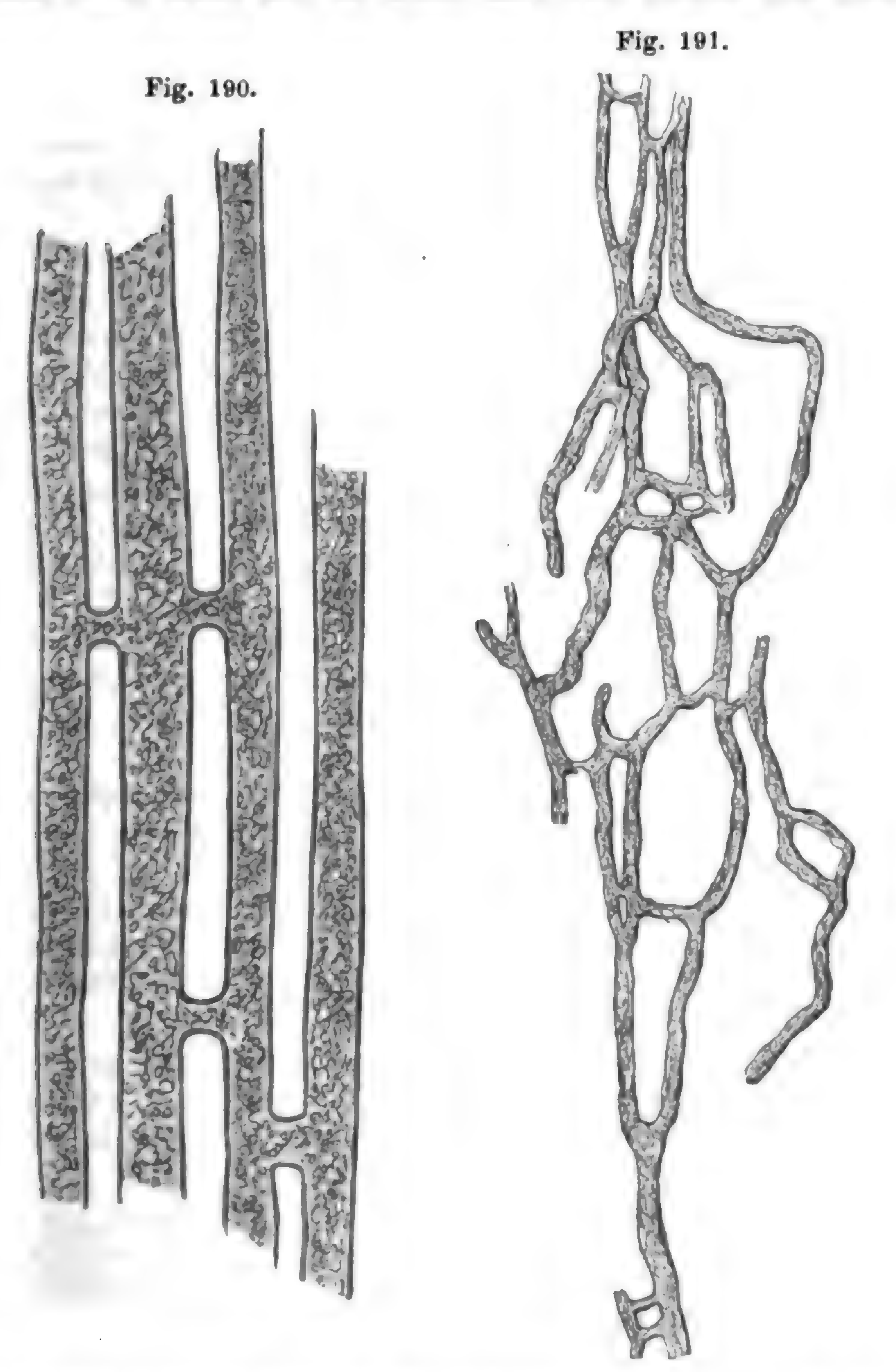


Fig. 190. Milchröhren aus dem Stengel von Papaver Rhoeas. Vergr. 1 : 400. — Fig. 191. Durch Maceration frei gelegtes Milchröhrennetz aus der Wurzel von Taraxacum officinale (Leontodon Taraxacum). Vergr. 1 : 100.

befindliche Röhren in Verbindung treten (Chelidonium). Ferner finden sich einzelne seitliche Auszweigungen, welche sich zwischen die benach-

Digitized by Google

barten Zellenelemente einschieben, und entweder blind endigen oder mit einer ähnlichen Auszweigung einer Nachbarröhre zusammentreffen und verwachsen. So entstehen durch Auflösung der Trennungswand die Netzröhren, wie man sie z. B. bei Papaver trifft (Fig. 190, a. v. S.). Endlich können, wie bei den Cichoriaceen und Papayaceen, zahlreiche, sich zwischen die umgebenden Gewebeelemente einschiebende Verzweigungen auftreten, und, indem sie von den neben einander liegenden Röhren mit einander in offene Verbindung treten, das bei den genannten Pflanzengruppen bekannte, höchst zusammengesetzte Milchröhrennetz hervorrufen (Fig. 191, a. v. S., und Fig. 65, VII, S. 128).

Ungegliederte Milchröhren. — Die ungegliederten Milchröhren, welche in den Familien der Euphorbiaceen, Urticaceen, Apocyneen und Asclepiadeen vorkommen, lassen eine Entstehung aus mit einander verschmolzenen Röhrenzellen nicht mehr oder doch nur selten und schwer erkennen (Fig. 192, I, bei *x*). Ob dieselben zum Theil aus einzelnen Zellen des Urgewebes in Folge eines bedeutenden Längenwachsthums entstanden, zum Theil, wie ich nach meinen Untersuchungen noch immer behaupten muss, aus Verschmelzung hervorgegangen sind, darüber müssen noch sorgfältigere Untersuchungen entscheiden, als sie zur Zeit vorliegen. Röhrennetze, wie bei den gegliederten, finden sich bei den ungegliederten Milchröhren nicht, oder es sind solche doch nicht mit Sicherheit nachgewiesen. Dagegen trifft man fast allgemein mehr oder minder zahlreiche, blind endigende Verzweigungen (Fig. 192).

Die Wand der Milchröhren erscheint häufig dünn und ohne merkbare secundäre Verdickung. In anderen Fällen tritt eine mässige Verdickung auf und es zeigen die Röhren entweder vollkommen glatte Wände oder es ist der oben erwähnte Bau zu beobachten. Nur selten findet sich z. B. bei alten Milchröhren der Asclepiadeen und Apocyneen, sowie bei denen der Euphorbiaceen, namentlich der tropischen, eine stärkere, durch Schichtung ausgezeichnete Wandverdickung (Fig. 193).

Ueber die chemische Beschaffenheit der Zellwand geben die bekannten Reagentien den gewünschten Aufschluss, und wird man sich durch deren Anwendung davon überzeugen, dass dieselbe unverholzt bleibt.

Die Untersuchungen über die Milchröhren führt man, wie bei den Siebröhren, am besten an in Alkohol aufbewahrtem Materiale aus, von dem man Quer- und Längsschnitte, und zwar letztere sowohl in der Radial- als in der Secanten-(Tangential-) Richtung nimmt. Für die Darstellung des Gefässnetzes der Cichoriaceen, sowie der Caricaarten, ebenso der verzweigten Milchsaftgefässe der Asclepiadeen u. s. w. eignet sich die Maceration durch Fäulniss am besten, weil die betreffenden Organe dadurch am wenigsten leiden, was bei dem Schulze'schen Macerationsverfahren und selbst bei Isolirung durch Kalilauge immer mehr oder weniger der Fall ist.

Digitized by Google

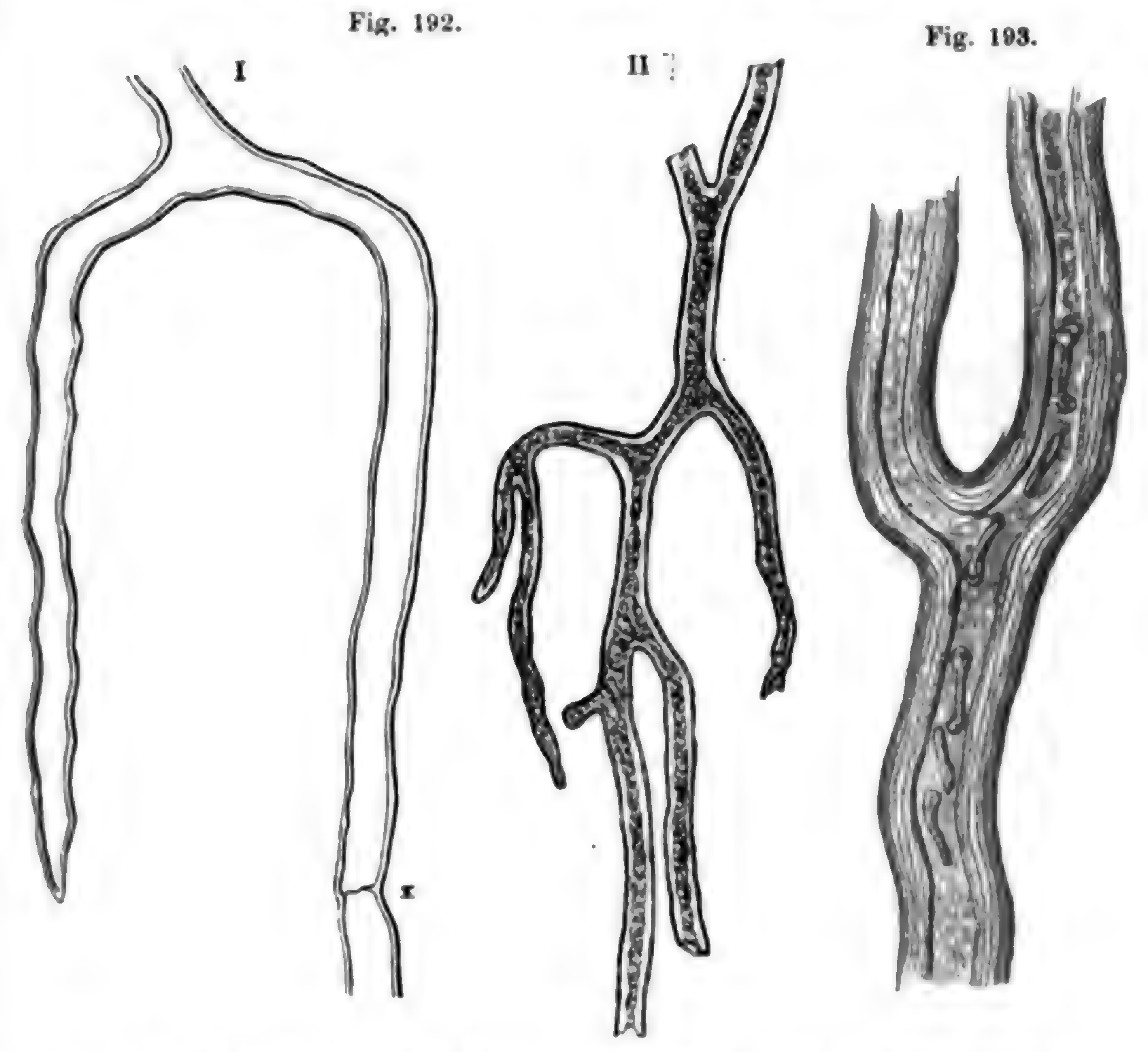


Fig. 192. Durch Maceration frei gelegte, verzweigte Milchröhren. I aus Asclepias currasavica, an dem man bei *x* noch die Ueberreste der Scheidewand erkennt. Vergr. 1 : 250. II aus dem Stengel von Euphorbia cyparissias. Vergr. 1 : 240. — Fig. 193. Theil einer Milchröhre aus Euphorbia splendens mit geschichteter Wand. Vergr. 1 : 250.

Optisches Verhalten der Röhrenzellen.

Holzröhren. Der Querschnitt der genannten Zellenart, wie der sonstigen Spiralzellen, die wir hier anschliessen wollen, zeigt sowohl für sich zwischen den gekreuzten Nicols, als bei Einschaltung des Gypsplättchens betrachtet, das gleiche Verhalten, wie der aller übrigen Zellwände.

Die Längsansicht dagegen verlangt für die Ring-, Spiral- und Netzgefässe einer-, für die porösen Gefässe andererseits eine gesonderte Betrachtung.

Isolirte Ring-, Spiral- oder Netzgefässe lassen in dem optischen Längsschnitte der Wandung, auf dem dunklen Grunde betrachtet, Bläulichweiss bis Weiss erster Ordnung beobachten, während die Fläche im

Digitized by Google

Ganzen nur in den tiefsten Farben dieser Ordnung leuchtet. Die Verdickungsfasern erscheinen unter + oder — 45° orientirt in glänzendem Weiss bis Gelblichweiss (Fig. 194, I u. II), unter 0° oder 90° neutral. Wo der Querschnitt der Fasern hinreichende Stärke besitzt, wie bei den betreffenden Zellen des Laubes von Pellia, der Equiseten, der Opuntien, der Phragmites- und Calamusarten u. s. w., da erscheint der Querschnitt

Fig. 194.

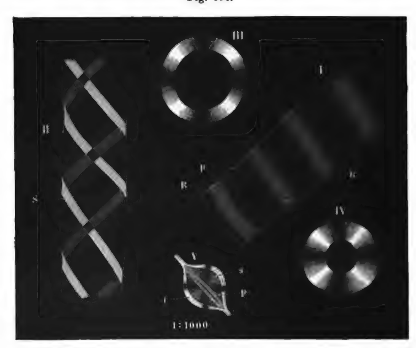


Fig. 194. I Theilstück eines Ringgefässes von Phragmites communis unter + 45°; *p* primäre Zellwand, *RR* ringförmige Verdickung. II Theilstück eines durch Druck flach ausgebreiteten Spiralgefässes von Dahlia variabilis mit zwei steil ansteigenden Spiralbändern; *S* Spiralbänder. III isolirter Ring von Phragmites. IV isolirte Spiralwindung aus dem Querschnitt des Holzes von Mamillaria sp. V Querschnitt eines Verdickungsbandes von Pellia epiphylla; *p* wie oben, *s* secundäre Verdickung, *i* Innenwand. Vergr. I bis IV 1 : 500, V 1 : 1000.

in der nach aussen gewendeten Schicht, d. h. der Innenwand, mit dem neutralen Kreuz und den unter ± 45° liegenden leuchtenden Quadranten, während die Mitte sich oft nahezu oder ganz neutral verhält (Fig. 194, V). In gleicher Weise, wie Zellenquerschnitte, verhalten sich isolirte, flach aufliegende Ringe, wie man sie leicht durch Maceration der Querschnitte der Opuntien und Mamillarien, der Längsschnitte von Phragmites und Calamus erhält (Fig. 194, III u. IV).

Prüfen wir die isolirten Zellen über dem eingeschalteten Gypsplättchen liegend, so zeigt für die primäre Membran (Cucurbita ist hier ein sehr brauchbares Object) unter + 45° der optische Längsschnitt Addi-

Digitized by Google

tionsfarben, die Fläche der Gefässzellen Subtractionsfarben mit nahe den Rändern befindlichen neutralen Streifen. Ueber die Farbengebung in der Lage 0° oder 90° lässt sich nicht mit Sicherheit entscheiden. Zwar erscheinen die Zellen hier neutral, aber es kann dies ebenso gut von der schwachen Wirkung der dünnen Zellwand, als von dem geraden Verlauf der optischen Achsen herrühren.

Im Zusammenhalte mit dem Querschnitte liefert dieses Verhalten indessen den Beweis, dass für die primäre Zellwand die kleinste Elasticitätsachse radial, die grösste tangential, die mittlere longitudinal oder axial dahingeht, wobei es unbestimmt bleibt, ob nicht die beiden letzteren so gegen die Zellenachse geneigt sind, dass die grössere einen stumpfen Winkel mit ihr bildet.

Die Verdickungsbänder erscheinen unter + 45° mit Additions-, unter — 45° mit Subtractionsfarben, welche auf der Mitte einerseits höher steigen, andererseits tiefer sinken, und verhalten sich in den beiden Stellungen 0° und 90° neutral. Der Querschnitt, in seinem Inneren scheinbar neutral, giebt in der Primär- und Innenwandmembran unter + 45° zwei Subtractions-, unter — 45° zwei Additionsquadranten. Isolirte Ringe verhalten sich ebenso.

Wie die in den verschiedenen Ansichten zur Geltung kommenden Durchschnitte des Elasticitätsellipsoides darthun, folgt die grösste Achse der Richtung der Spirale, während die mittlere auf dieser senkrecht steht, und die kleinste, wenn man die Verdickungsbänder als Cylinder oder Halbcylinder betrachtet, mit dem Radius dieses letzteren zusammenfällt, wobei in der secundären Verdickung — dem Kern der Ringe, Spiral- und Netzfasern — der Unterschied zwischen den beiden letzteren als ein nur geringer erkannt wird.

Von der Primärwand beziehentlich den unverdickten Stellen abgesehen, liessen sich diese Verhältnisse, auf die ganze Zelle bezogen, und die Ringe, Spiralfasern etc. als flache Bänder betrachtet, dahin ausdrücken, dass die kleinste Elasticitätsachse radial dahingehe und die beiden anderen in einer Tangentialebene lägen. Die letzteren würden dabei derart zur Zellenachse geneigt sein, dass die grösste mit ihr einen dem Steigungswinkel der Verdickungsbänder gleichen Winkel bildete.

In den Längsansichten der eigentlich porösen sowohl als der sogenannten treppenförmigen Röhrenzellen zeigen — abgesehen von der Wirkung der Fasern bei leiterförmig durchbrochenen Querwänden (Fig. 195, Q, a. f. S.) und der Porenhöfe, welche dieselbe bleibt, wie bei den Spiralbändern und Porenhöfen der Holzzellen, und wenn man sich passende Zellenindividuen auswählt, die nicht zu dicht mit Poren bestellt sind — auf dem dunklen Grunde Rand und Mitte Weiss erster Ordnung mit den zwei neutralen Streifen, auf dem Gypsgrunde die Ränder oder der optische Längsschnitt unter + 45° blaue, die Fläche an den von Poren freien Stellen gelbe Farbentöne und gleichfalls zwei neutrale Streifen. Unter 0° und 90° wird die Fläche aller der Zellen völlig neutral, bei

denen der spaltenförmige Porencanal senkrecht zur Längsachse steht, während bei jenen, welche zu dieser letzteren geneigte Porencanäle besitzen, je nachdem diese einer links oder rechts ansteigenden Spirale

Fig. 195.

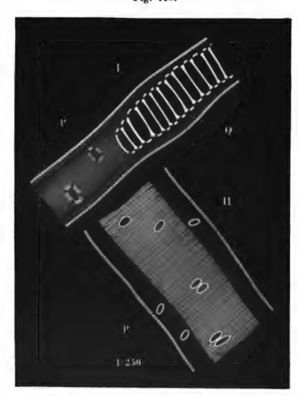


Fig. 195. I Theilstück eines porösen Gefässes von Metteniusa (Karten) mit horizontalen, ovalen Porencanälen und leiterförmig durchbrochener Querscheidewand Q, unter + 45°. II Theilstück eines Gefässes von Cyathea incana, von einer Stelle, wo es an Parenchymzellen grenzte, mit quer-ovalen Porencanälen und bemerkbarer Querstreifung der Zellwand (secundäre Schichten). Die horizontale Mitte am stärksten, die rechte geneigte Seitenfläche nur wenig, die linke gar nicht leuchtend. Vergr. 1 : 250.

folgen, die erste Stellung sich als die consecutive, die andere als die alternative erweist und umgekehrt.

Das Verhalten von Querschnitt und Längsansicht ergiebt sonach für die kleinste Achse eine radiale, für die grösste und mittlere eine in dem Tangentenschnitte verlaufende Stellung. Hierbei kann aber die grösste Elasticitätsachse entweder quer-tangential, d. h. senkrecht zur Zellenachse stehen, oder eine einer gegen diese unter stumpfem Winkel ansteigenden, links- oder rechtswendigen Spirale folgende Neigung besitzen.

Digitized by Google

Sieb- und Milchröhren. Die Wände der genannten Zellformen verhalten sich auf dem Querschnitte gleich den Holzgefässen, d. h. sie lassen für sich das unter 0° und 90° dahingehende schwarze Kreuz, bei Zwischenschaltung des verzögernden Plättchens unter + 45° zwei Subtractions-, unter — 45° zwei Additionsquadranten beobachten.

In den Längsansichten wirken nur die Ränder, d. h. der optische Längsschnitt, mit einiger Intensität, indem sie in dunklem Gesichtsfelde unter ± 45° glänzendes Weiss erster Ordnung zeigen. Die in der Nähe der Ränder je einen neutralen Streifen zeigende Fläche wirkt bei den schwach verdickten, hierher gehörigen Zellen nur schwach ein und leuchtet nur in den tiefsten Tönen der ersten Ordnung, während sich bei stark verdickten Milchröhren (Euphorbien) die Farben erhöhen. Auf dem Gypsgrunde beobachtet, erhöhen die Ränder dessen Farbe unter + 45° auf Dunkel- bis Hellblau, die Mitte dagegen erscheint in Subtraction, d. h. Orange bis Dunkelgelb, und diese letztere Farbengebung ist bei den meisten hierher gehörigen Objecten nur von geringer Intensität. Bei den Orientirungen unter 0° und 90° lässt sich eine Farbenänderung des Gypses nicht mit Sicherheit constatiren, es erscheinen die Zellen vielmehr anscheinend neutral.

Diesem Verhalten gemäss muss die kleinste Elasticitätsachse eine radiale Richtung haben, während die grösste tangential, die mittlere axial gestellt ist, wobei es indessen unentschieden bleibt, ob nicht in manchen Fällen eine geringe Abweichung von diesen letzten Richtungen in der Art stattfindet, dass die grösste Achse einen sehr stumpfen, die mittlere einen entsprechend kleinen spitzen Winkel mit der Zellenachse macht.

Die callose Verdickung der Siebplatten zeigt keinen Einfluss auf das polarisirte Licht und bekundet damit ihre einfachbrechende Eigenschaft.

Das Gesammtresultat, welches sich für die Röhrenzellen aus den Ergebnissen der Beobachtung ziehen lässt, stimmt mit jenem überein, welches wir bei den Faserzellen gewonnen haben, und verweise ich daher einfach auf den dort zum Schlusse gegebenen Ueberblick.

Literatur: Die oben genannten allgemeinen Werke, sowie die citirten Arbeiten von Hartig und Sanio (III. Tracheales System) in der Botanischen Zeitung, dann über die siebförmig-porösen Röhrenzellen:

Th. Hartig: Vollständige Naturgeschichte und Botanische Zeitung 1854. Ueber die Querscheidewände der einzelnen Glieder der Siebröhren von Cucurbita Pepo.

A. Trécul: Mémoire sur les formations secondaires dans les cellules végétales. Ann. d. sc. nat. Sér. 3, Vol. IV, p. 273. 1854. (Gehört auch zu Abschnitt I, S. 190.)

H. v. Mohl: Einige Andeutungen über den Bau des Bastes. Bot. Ztg. 1856.

J. Schacht: Ueber die Milchgefässe von Carica papaya. Monatsberichte der Berliner Akademie 1856.

J. Hanstein: Ueber ein System schlauchförmiger Gefässe u. s. w. Monatsberichte der Berliner Akademie 1859.

C. Nägeli: Ueber die Siebröhren von Cucurbita. Botan. Mittheilungen. München 1861.

Digitized by Google

J. Hanstein: Die Milchsaftgefässe und die verwandten Organe der Rinde. Berlin 1864. Gekrönte Preisschrift.

L. Dippel: Die Entstehung der Milchsaftgefässe und deren Stellung in dem Gefässbündelsystem der milchenden Gewächse. Rotterdam 1865. Gekrönte Preisschrift.

Vogl: Ueber die Intercellularsubstanz und die Milchsaftgefässe in der Wurzel des gemeinen Löwenzahns. Sitzungsbericht der K. K. Akademie der Wissensch. in Wien. Bd. 48, Abthlg. I, und Beiträge zur Kenntniss der Milchsaftorgane der Pflanzen in Pringsh. Jahrb., Bd. V.

David: Ueber die Milchzellen der Euphorbiaceen, Moreen, Apocyneen und Asclepiadeen. Dissertation. Breslau 1872.

Schmalhausen: Beiträge zur Kenntniss der Milchsaftbehälter der Pflanzen. Mém. de l'Acad. de Sc. de St. Petersbourg, Vol. XXIX, 1877.

Janczewski: 1. Sur la structur des tubes cribreux. Compt. rend. 1878, 22. Juli. 2. Études comparées sur les tubes cribreux. Ann. d. sc. natur. Bot. Sér. VI, Vol. XVI, 1882.

Wilhelm: Beiträge zur Kenntniss des Siebröhrenapparates dikotyler Pflanzen. Leipzig 1880.

Russow: Ueber die Verbreitung der Callusplatten bei den Gefässpflanzen. Sitzungsber. der naturf. Gesellsch. d. Universität Dorpat, Bd. VI, S. 63, 1884.

A. Fischer: Untersuchungen über das Siebröhrensystem der Cucurbitaceen. Berlin 1884.

Lecomte: Contribution à l'étude de liber des Angiospermes. Ann. de sc. natur. Bot. Sér. VII, Vol. 10, p. 193 sq., 1889.

Digitized by Google

Zweiter Abschnitt.

Untersuchungen über die Gewebe der höheren Gewächse.

Unter Zellgewebe versteht man die durch Verschmelzen der Cambialwände (Mittellamelle, Intercellularsubstanz) vermittelte feste Vereinigung gleichartiger oder verschiedenartiger Zellen zu einer grösseren bleibenden Gruppe von bestimmter Bedeutung für das Gesammtleben der Pflanze. Will man die Pflanzengewebe unterscheiden, so kann man von verschiedenen Gesichtspunkten ausgehen. So kann man unterscheiden zwischen Bildungsgeweben (Theilungsgeweben, Meristemen), denen durch Zelltheilung eine begrenzte oder während der Dauer des Lebens der betreffenden Pflanze unbegrenzte Zellvermehrung zugewiesen ist, und den aus diesen hervorgegangenen Dauergeweben, welche in dem nach der Ausbildung der an ihrer Zusammensetzung theilnehmenden Zellen erlangten Zustande verharren. Nach den physiologischen Leistungen haben neuerdings Haberland u. A. eine ganze Reihe von Gewebesystemen unterschieden: so das Bildungsgewebesystem, das Hautsystem, das Skeletsystem, das Absorptionssystem, das Assimilationssystem, das Leitungssystem, das Speichersystem, das Durchlüftungssystem, das Secret- und Excretbehältersystem. Betrachtet man endlich die Gewebe nach der Theilnahme der Zellenarten an ihrem wesentlichen Aufbau, sowie nach der Lage, welche dieselben in dem Pflanzenkörper einnehmen, d. h. nach rein morphologischem Gesichtspunkte, dem wir hier folgen wollen, dann lassen sich zunächst zwei Hauptgruppen von Geweben unterscheiden: 1. Gleichartige Gewebe (Parenchymgewebe), welche wesentlich aus nur einer Zellenart, und zwar aus Parenchymzellen gebildet werden. 2. Ungleichartige Gewebe, an deren Zusammensetzung verschiedene, und zwar bei vollständiger Ausbildung alle drei Zellenarten theilnehmen können. Zu der ersteren Gruppe gehören das Urgewebe, das Oberhaut- und Korkgewebe einschliessende Hautgewebe und das namentlich auch Mark und Rinde umfassende Grundgewebe; zu der letzteren dagegen nur das Stranggewebe oder Gefässbündel mit seinem Holz- und

Digitized by Google

Basttheile, dem Cambium und (bei Gymnospermen und Dikotyledonen) dem Zwischen- oder Strahlengewebe.

Gleichartige Gewebe.

I. Urgewebe.

Das Urgewebe, Urparenchym, welches zuerst von Schacht von den übrigen Geweben geschieden wurde, geht von den Moosen ab bis zu den Gefässkryptogamen aus einer einzigen, nach aussen von einer dreiseitigen Kugelhaube, nach innen von drei ebenen, pyramidenförmig zusammenneigenden Wänden gebildeten, sich meist schraubenförmig theilenden Zelle, der Scheitelzelle, bei den Phanerogamen wohl meistens aus einer vier- bis mehrzelligen Scheitelzellengruppe hervor und ist der ursprüngliche Herd sämmtlicher Neubildungen. Es findet sich daher in dem Vegetationskegel der End- und Seitenknospen von Stamm und Wurzel und bildet die jüngste Blatt-, sowie die jugendliche Keimanlage sämmtlicher höher entwickelten Pflanzen. Aus dem Urparenchym differenziren sich erst im weiteren Entwickelungsgange die verschiedenen übrigen, und zwar sowohl die nachgebildeten, an den betreffenden Stellen zu besprechenden Bildungsgewebe, als die Dauergewebe mit ihren Zellenarten.

Die Zellen, welche an der Zusammensetzung des Urgewebes theilnehmen und einen verhältnissmässig grossen, oft fast den ganzen Zellenraum ausfüllenden Kern besitzen, sind immer zartwandiger Natur, ohne secundäre Verdickung, und es zeigen deren Wände die bei der Primärwand S. 7 u. f. besprochenen Reactionen. Ihre Gestalt ist anfänglich eine polyëdrische mit ebenen, ohne Intercellularräume an einander schliessenden Flächen (Fig. 196, I), erst später nähern sie sich weniger oder mehr der sphärischen Gestalt (Fig. 196, II), indem durch Spaltung der primären und cambialen Wand zwischen denselben, und zwar namentlich an den Stellen, wo sich drei oder mehrere Zellen berühren, kleinere oder grössere Intercellularräume und Gänge entstehen. Dieselben bilden durch Theilung neue Zellen, ebenso entstehen in ihnen die verschiedenen Inhaltselemente. Sie enthalten neben dem Protoplasma auch kleine Stärkemehlkörner und Chlorophyll.

Zur Untersuchung dieser Gewebeart bedarf es zarter, bei der Beobachtung am besten mit einer der H., S. 696 und G., S. 311 beschriebenen Zusatzflüssigkeiten zu umgebender, sowie durch Chlorhydratlösung oder Eau de Javelle aufgehellter, erforderlichen Falles auch gefärbter Quer- und Längsschnitte durch den Vegetationskegel ruhender, oder wenn man den Uebergang derselben in die übrigen Gewebearten studiren will, eben sich entfaltender Knospen oder wachsender Stengel und Seitenzweige. Besonders geeignetes Material liefern neben Hippuris und Elodea cana-

Digitized by Google

densis grössere Knospen bildende Holzgewächse, wie Ficus, Aralia, Aesculus, Fraxinus u. a. Für die Kenntniss der einzelnen Inhaltselemente und deren Vertheilung in den verschiedenen Partien des Urgewebes

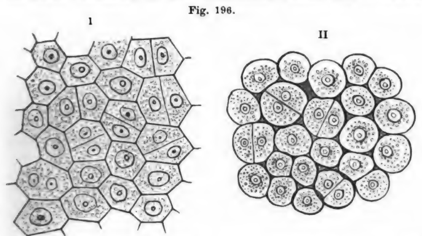


Fig. 196. Urparenchym. Querschnitt I durch die Spitze des Vegetationskegels, II aus einer tiefer gelegenen Stelle des Markes der Stammknospenspitze von Ficus carica. Vergr. 1 : 1200.

empfiehlt sich namentlich die Behandlung mittelmässig feiner, unverletzte Zellen enthaltender Schnitte mit den bei den Inhaltsbestandtheilen der Zelle angeführten Reagentien und Färbemitteln.

II. Grundgewebe.

Das Grundgewebe entsteht unmittelbar aus dem Urparenchym und erlangt seine weitere Ausbildung theils durch die Ausdehnung (Vergrösserung), theils durch die secundäre Verdickung der Zellwand der aus jenem hervorgegangenen Zellen, welche — mit seltenen Ausnahmen — ihre parenchymatische Form behalten. Dasselbe nimmt als Rinde allgemein den unter der Oberhaut gelegenen Theil, bei den Dikotyledonen als Mark das Innere der Achsenorgane ein und bildet bei den Gefässkryptogamen, sowie bei den Monokotyledonen das als Grundgewebe im engeren Sinne bezeichnete Zwischengewebe, welches die Gefässbündel von einander trennt, bei den Blättern das zwischen oberer und unterer Oberhaut gelegene, die Gefässbündel umgebende Mittelgewebe oder Mesophyll.

In der Form und Verbindung wechseln die Parenchymzellen mannigfach, so dass man unter Zugrundelegung dieser Merkmale verschiedene Arten von Parenchym unterschieden hat.

Bleibt die Berührung der Zellen eine mehr oder minder vollständige, so dass entweder nur verhältnissmässig kleine, meist dreieckige Inter-

Digitized by Google

cellularräume vorhanden sind, oder diese ganz fehlen, so entsteht das aus polyëdrischen oder prismatischen Zellformen gebildete **vollständige Parenchym**. Hiervon hat das **regelmässige** Parenchym, bei dessen Zellen die drei räumlichen Ausmessungen einander ganz oder nahezu gleich sind (Fig. 197, I), und welches in manchen Fällen durch Abnahme einer Ausmessung in sogen. **mauerförmiges** Parenchym (Stengel von

Fig. 197.

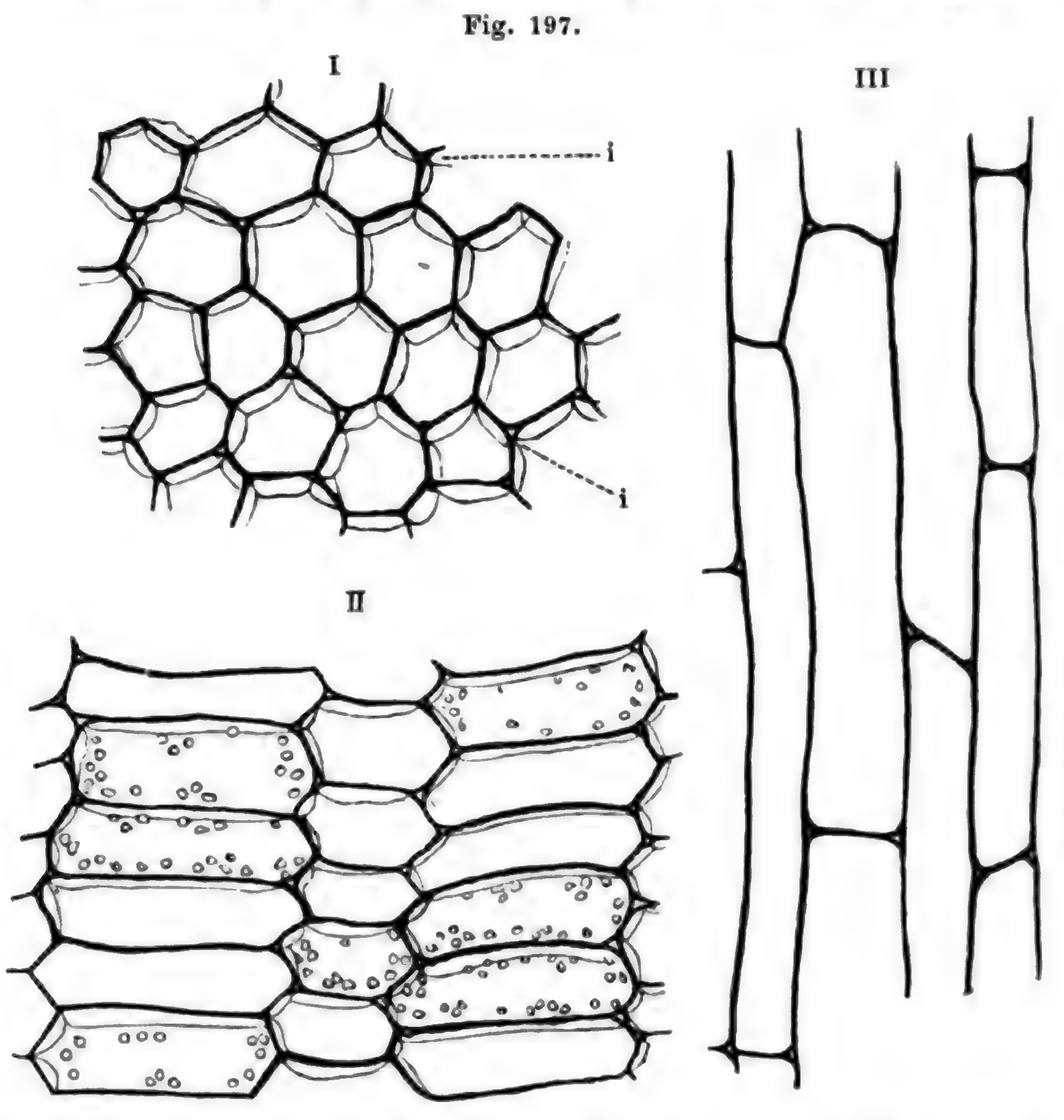


Fig. 197. Vollständiges Parenchym. I regelmässiges Parenchym aus dem Stamme von Acacia lophanta im Querschnitt. II mauerförmiges Parenchym aus dem Stengel von Cyperus alternifolius im Längsschnitt. Vergr. 1 : 250. III langgestrecktes Parenchym aus dem Blüthenschafte von Lilium bulbiferum. Vergr. 1 : 150.

Myriophyllum, Cyperus alternifolius, Mark von Tilia u. s. w., Fig. 197, II) übergeht, die weiteste Verbreitung, indem es die Grundgewebeformen der meisten Gewächse zusammensetzt, wogegen das **langgestreckte** Parenchym (Fig. 197, III) vorzugsweise die betreffenden Gewebe sehr rasch wachsender, saftiger, krautartiger Pflanzen (Canna, Phaseolus u. s. w.), sowie das Mark vieler Holzarten bildet.

Digitized by Google

Berühren sich die Zellen nur an einzelnen Stellen ihres Umfanges, so nennt man das Gewebe **unvollständiges Parenchym** und unterscheidet wieder, je nach der Form der zusammensetzenden Zellen und der zwischen ihnen bleibenden Intercellularräume oder Gänge, das **rundliche** (Fig. 198, I) (Mark von Paeonia officinalis u. s. w.), das **schwammförmige** (Fig. 198, II bis IV) (im Marke mancher Scita-

Fig. 198.

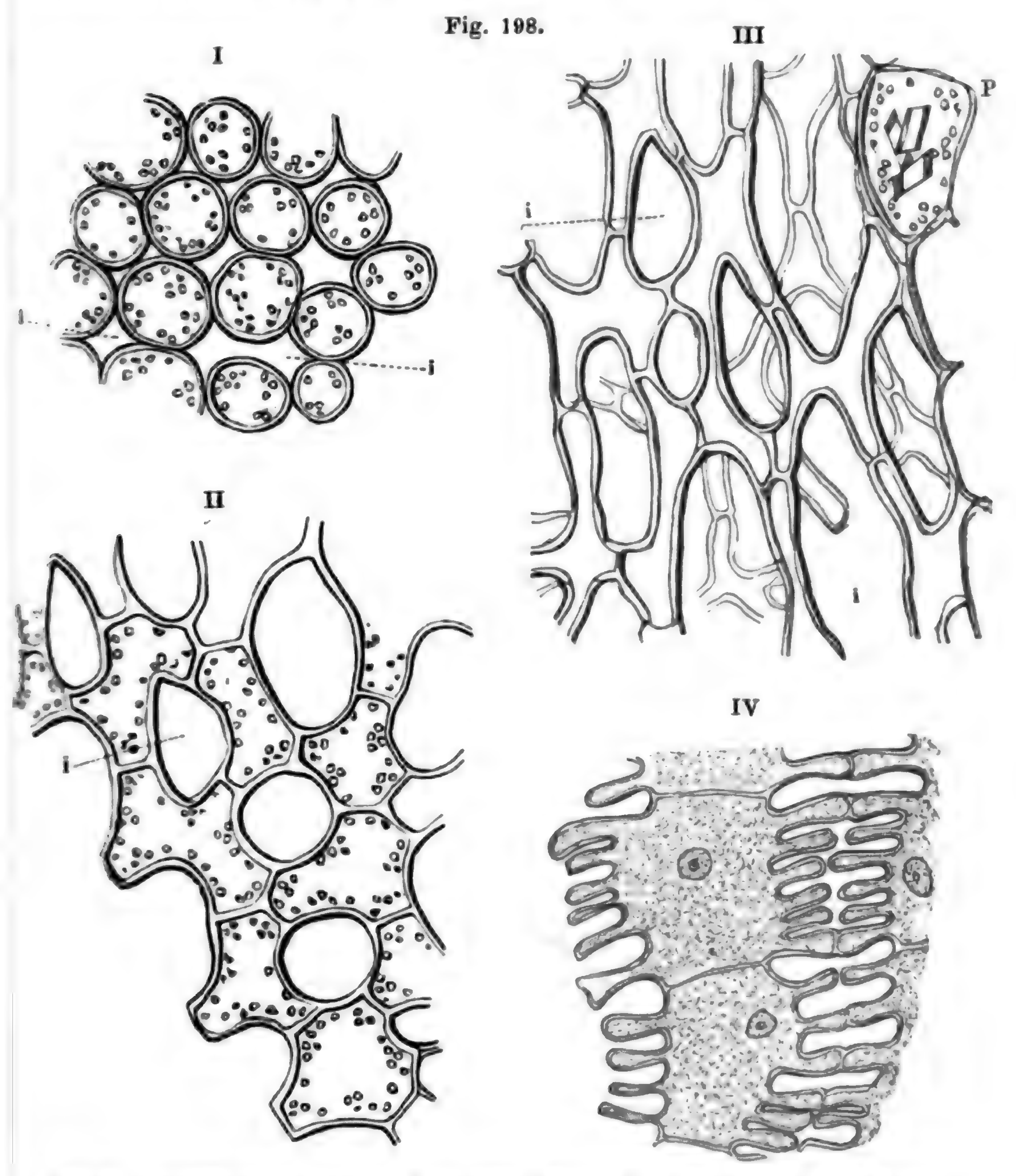


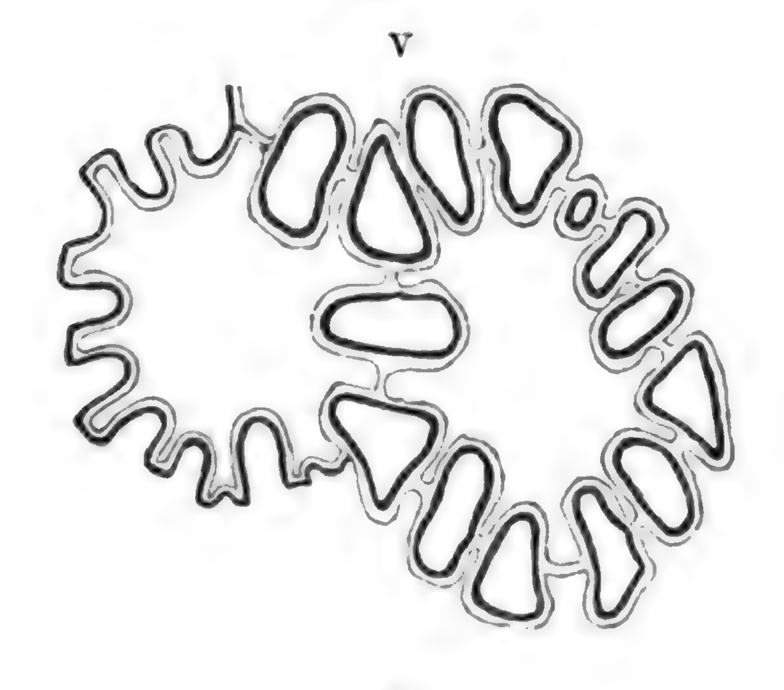
Fig. 198. Unvollständiges Parenchym. I rundliches Parenchym aus dem inneren Theile (Marktheile) des Blattes von Yucca aloefolia. *i* Intercellularräume. II schwammförmiges Parenchym aus dem mittleren Theile des Blattes von Asplenium Nidus. III schwammförmiges Parenchym aus einem Luftgange des Blattstieles von Maranta zebrina. *P* den Luftgang umgebendes, krystallführendes Parenchym. IV schwammförmiges Gewebe aus dem Stengel von Sagittaria sagittaefolia. Vergr. I und II 1 : 600, III und IV 1 : 250.

Digitized by Google

mineen, Canna u. s. w., sowie in dem mittleren Theile des Gewebes der meisten Blätter) und das sternförmige (Mark von Juncus, Musa, Butomus u. s. w.) (Fig. 198, V und VI).

Fig. 198.

V



VI

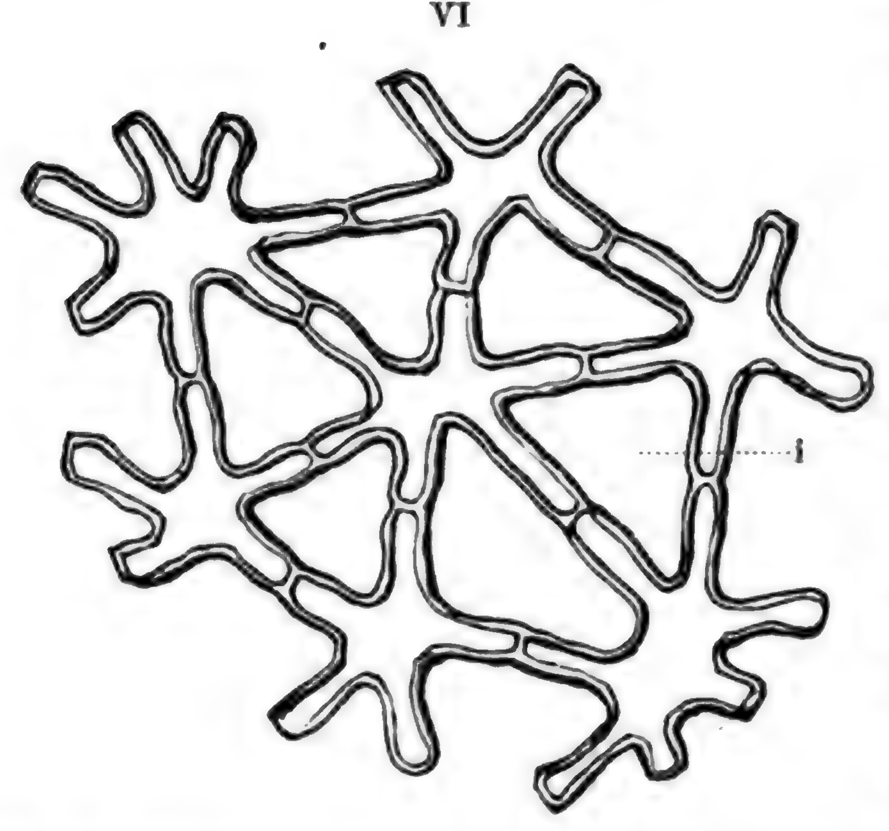


Fig. 198. Unvollständiges Parenchym. V sternförmiges Parenchym aus dem Stengel von Potamageton natans. VI sternförmiges Parenchym aus der Querscheide eines Luftganges von Juncus conglomeratus. i Intercellularräume. Vergr. V und VI 1 : 250.

Die Intercellularräume und Intercellulargänge nehmen hier immer einen sehr bedeutenden Raum ein und erreichen bei dem schwamm- und sternförmigen Gewebe ihre grösste Ausdehnung.

Abgesehen von den durch die Form der zusammensetzenden Zellen bedingten Intercellularräumen und Intercellulargängen, im engeren Sinne, entstehen in dem Grundgewebe, entweder durch Auseinanderweichen einer grösseren Anzahl von Zellen, also schizogen (Intercellulargänge im weiteren Sinne, oder Intercellularcanäle), oder durch Resorption von mehr oder minder umfänglichen, bisweilen aus abweichend gebauten Zellen bestehenden Zellensträngen oder Zellengruppen, d. h. lysigen, die sogenannten, im ersten Falle als protogene, im anderen als historogene bezeichneten Luftgänge und Luftlücken, wie wir sie namentlich in dem Stengel der Sumpf- und Wasserpflanzen, der Musaceen, Alismaceen, Collitrichaceen, Hippuridaceen, Nymphaea, Nuphar u. s. w. antreffen und in die bei Nymphaeaceen (Blattstiel) vielfach verzweigte, verdickte und verholzte faserartige Zellen hineinragen (Fig. 199).

Digitized by Google

Fig. 199.

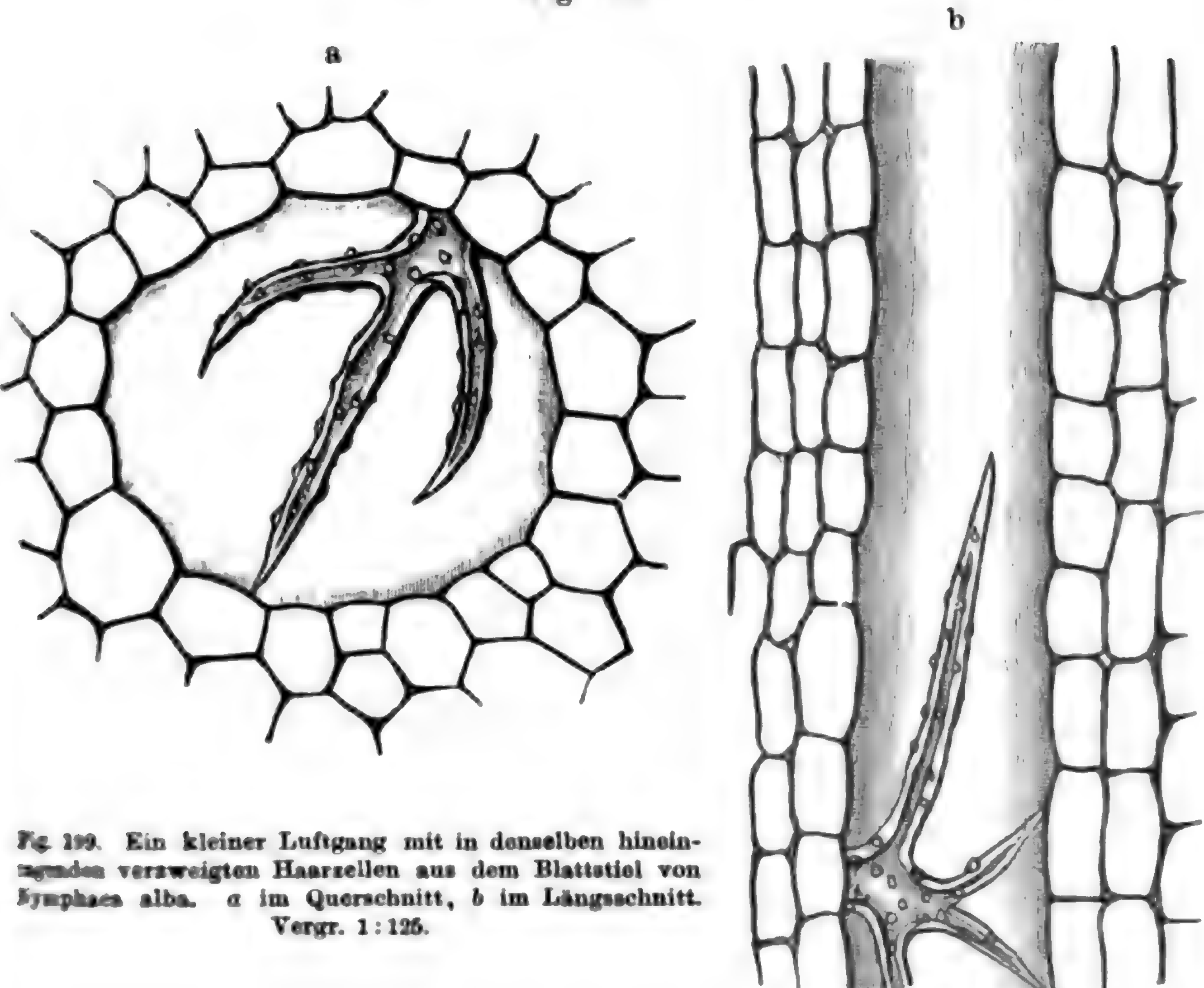


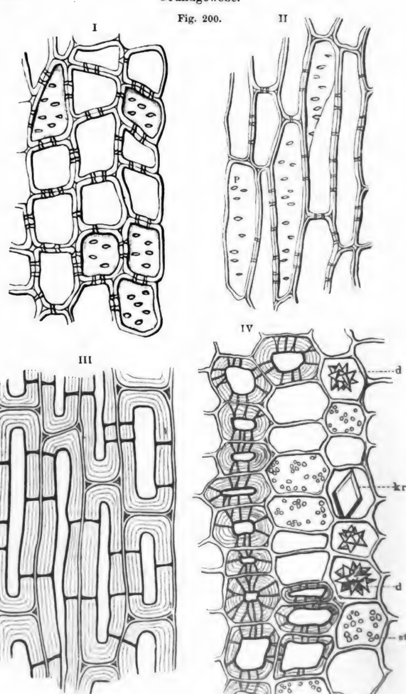
Fig. 199. Ein kleiner Luftgang mit in denselben hineinragenden verzweigten Haarzellen aus dem Blattstiel von Nymphaea alba. *a* im Querschnitt, *b* im Längsschnitt. Vergr. 1:125.

1. Mark.

Die Zellwand der das Markgewebe, welches aus dem von Hanstein als „Plerom" bezeichneten mittleren Theile des Urgewebes entsteht und unter dem ich hier auch das sogenannte Grundgewebe der Monokotyledonen und Gefässkryptogamen, sowie das mittlere Parenchym der Blätter einbegreife, bildenden Zellen ist in der Regel nur wenig verdickt [Balsaminen und andere krautartige Gewächse, gewisse Holzpflanzen (Tilia, Ribes, Ampelopsis, Evonymus, Hollunder u. a., Fig. 197, I, S. 300)]. Hier und da erscheint sie, und zwar entweder über das ganze Mark (Cytisus, Fagus, Vitis, Fraxinus, Dracaena, Yucca, Cycas, Picea, Taxodium u. s. w.) (Fig. 200, I u. II, a. f. S.) oder nur im Umfange oder der Mitte desselben (Rhamnus alpinus) mit mässigen Verdickungsschichten versehen. Nur in sehr vereinzelten Fällen und für einzelne — meist die äusseren —, sich durch mehr in die Länge gestreckte Zellen auszeichnende Theile des Gewebes schreitet die Verdickung bis zu höherem Grade fort (Clematis, tropische Bignonien, einzelne Palmen u. s. w.) (Fig. 200, III). Bei manchen Pflanzen, z. B. Hoya carnosa (Fig. 200, IV), finden sich zwischen den unverdickten Zellen Gruppen oder Nester von solchen mit stark verdickten, geschichteten Wänden, sogenannte Steinzellen (Sklereïden, Brachysklereïden), bei anderen (Tiliaceen, Malvaceen, Rhamneen,

Digitized by Google

Fig. 200.



Digitized by Google

Cacteen) treten seltener einzelne, meist in Längsreihen stehende Zellen mit Verdickung durch — später sich oft wieder völlig oder theilweise auflösenden — Schleimschichten (Fig. 200, V) auf.

Die chemische Beschaffenheit der Zellwand hängt meist mit deren Verdickung zusammen. Die schwach verdickten Markzellen nehmen nach der Behandlung mit Jod und Schwefelsäure entweder sogleich oder nach längerer Einwirkung eine blaue, mit den zusammengesetzten Jodlösungen (Chlorzinkjod-, Chlorcalciumjod- und Jodphosphorsäurelösung) eine röthlichblaue bis violette (Fig. 149, *a*, S. 232), ferner bei Behandlung mit den Pectose anzeigenden Färbeflüssigkeiten die früher angegebene Färbung an und erweisen sich somit als von gleichem chemischen Aufbau, wie er bei der Primärwand erkannt wurde. Die mässig verdickten Markzellen von Fraxinus, Fagus, Cytisus etc. zeigen nach gleicher Behandlung mit erstgenannten Reagentien im jüngeren Zustande innere, blau gefärbte, und äussere, gelb gefärbte Schichten; die Reagentien auf Verholzung färben letztere entsprechend, erstere nicht; Hämatoxylinlösung und Lösung von Rutheniumroth ertheilen jenen die früher beschriebenen Färbungen und lassen diese ungefärbt, und lässt sich so die allmälige Verholzung der verschiedenen Wandtheile verfolgen, welche schliesslich in höherem Alter bis zur Innenwand fortschreitet, nur diese nicht ergreift oder auch auf sie übergeht, so dass nur die Schliesshaut der Poren unverholzt bleibt (Fig. 145, S. 228). Alle Steinzellen, wie z. B. diejenigen in dem Markgewebe von Hoya carnosa, sind im ausgebildeten Zustande immer gänzlich verholzt und färben sich sowohl mittelst der zusammen-

Fig. 200.

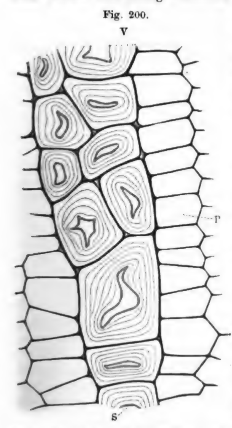


Fig. 200. I Längsschnitt aus dem Marke der Buche (Fagus sylvatica). Vergr. 1 : 320. II Längsschnitt aus dem Blüthenschaft von Yucca flaccida. Vergr. 1 : 250. III Längsschnitt aus dem Marke von Clematis Vitalba. IV Längsschnitt aus dem Marke von Hoya carnosa mit verdickten, porösen und unverdickten, Stärke oder Krystalle führenden Parenchymzellen. *st* Stärkekörner, *dd* Krystalldose, *kr* einzelne Krystalle. Vergr. 1 : 320. V Längsschnitt aus dem Marke von Tilia heterophylla, in Alkohol beobachtet. *S* durch Schleim verdeckte Zellen. *P* Markparenchym. Vergr. 1 : 240.

Digitized by Google

gesetzten Jodlösungen, als mittelst Jod und Schwefelsäure heller bis dunkler gelb (Fig. 149, *b*, S. 232), mit den Holzstoffreagentien und den früher angegebenen Färbeflüssigkeiten in der S. 199 angegebenen Weise. Die Schleimverdickungen erweisen sich durch ihre Färbung mittelst Rutheniumroth, Safranin, Methylen-, Naphtylen- und Nachtblau als aus Pectoseschleim bestehend.

Fig. 201.

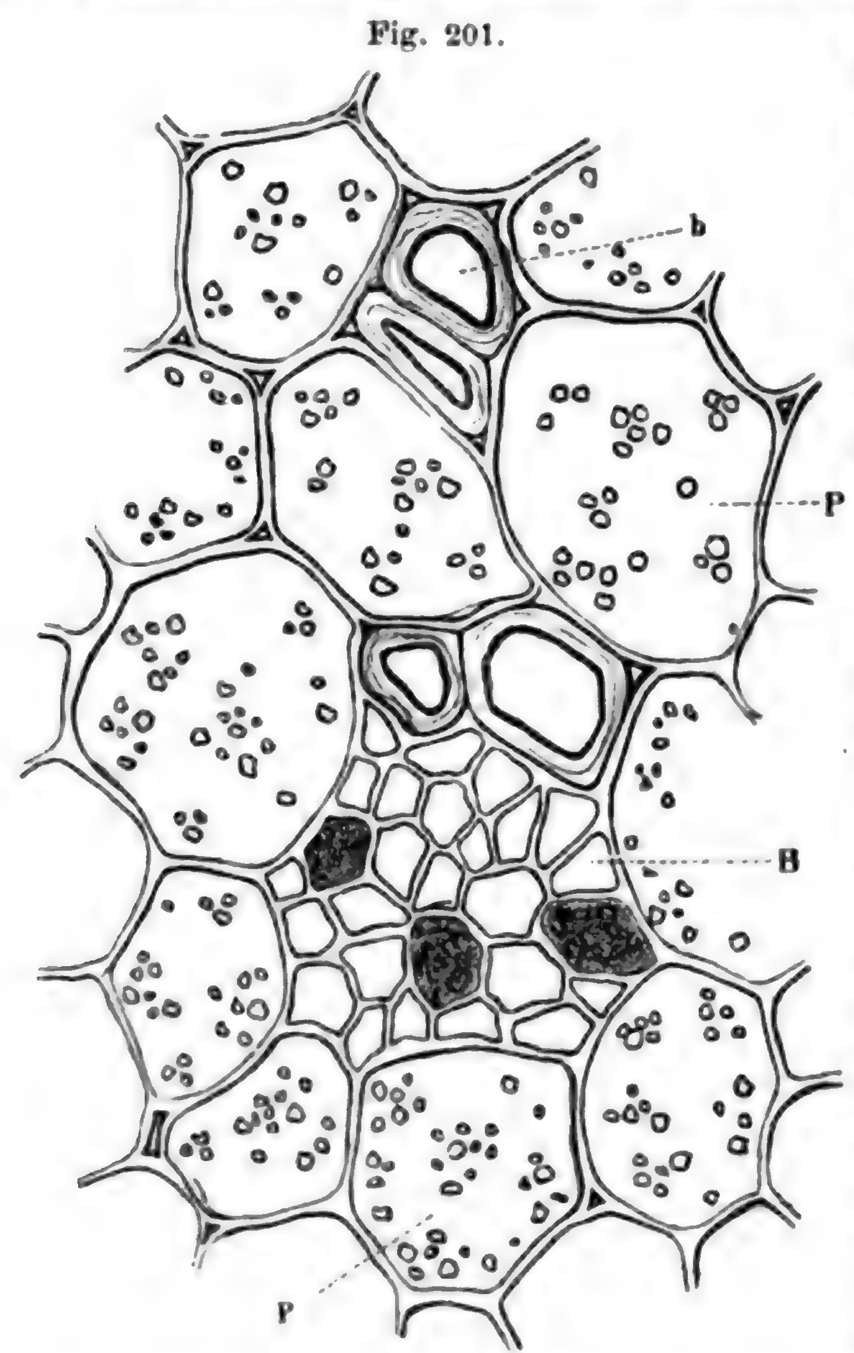


Fig. 201. Querschnitt durch das Mark von Atropa Belladonna. *PP* Parenchym des Markes, *b* vereinzelte Bastfasern, *B* ein aus Bastfasern, Bastparenchym und Bastgefässen (Siebröhren) bestehendes Bastbündel. Vergr. 1 : 400.

Die Form der Verdickungsschichten wechselt in dem Markgewebe weit weniger, als sonst irgendwo. Man wird, wenn man nicht etwa einzelne weitporige Formen theilweise zu den netzförmig verdickten Zellen zählen will, in den meisten Fällen nur die unbehöft poröse Verdickungsform beobachten.

Als fremde Gewebetheile erscheinen hier und da in dem Marke vereinzelte vollständige Gefässbündel (Piperaceen, Umbelliferen), sowie Bastbündel (Sonchus, Lactuca, Solaneen, Convolvulaceen u. s. w., Fig. 201), ferner vereinzelte Milchröhren (Asclepiadeen und Apocyneen, manche Euphorbien und Moreen, Cucurbita, Bryonia, Fig. 202), ebenso in seltenen Fällen einzelne, oder aus wenig Zellen bestehende Gruppen von Bastfasern (z. B. Rhizophora und einige Solaneen [1]).

Die in einzelnen Fällen in dem Markgewebe vorkommenden Behälter eigenthümlicher Säfte (Milchsaft-, Gummi-, Oelgänge etc.), welche theils

[1]) Diese Vorkommen, namentlich auch das der Bastbündel, sind von mir bereits in der ersten Auflage (1869) erwähnt und mittelst der beistehenden Figuren abgebildet worden.

Digitized by Google

lysigenen Ursprungs sind und nur aus von den gewöhnlichen Parenchymzellen umgebenen Intercellulargängen bestehen, theils aus von einer oder mehreren Lagen eigenartig ausgebildeten, mit fest an einander schliessenden Wänden versehenen und nach der Achsenrichtung des betreffenden Pflanzentheiles mehr oder weniger gestreckten Zellen umgebenen Intercellulargängen gebildet werden, und auf deren in gleicher Weise, wie bei den Luftcanälen vor sich gehende Entstehung wir im vierten Abschnitte näher eingehen werden, mögen gleichfalls hier der Beobachtung unterworfen werden, obgleich sie im strengen Sinne des Wortes nicht zu den fremden Gewebetheilen zu zählen sind. Sie bilden engere oder weitere, meist mit der Achse des Stengels parallel verlaufende, seltener sich verzweigende und mit einander anastomosirende Canäle, Gänge (Fig. 203, a. f. S.), oder auch kugelförmige, elliptische bis ganz unregelmässige Hohlräume, welche sich durch den mehr oder minder abweichenden Bau der sie zunächst umgebenden Parenchymzellen kenntlich machen und namentlich von den Luftgängen unterscheiden.

Fig. 202.

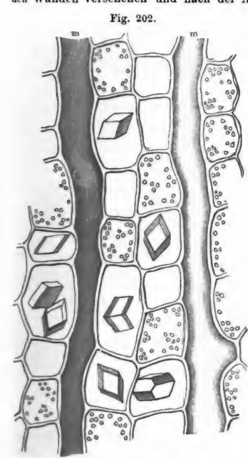


Fig. 202. Längsschnitt aus dem Marke von Periploca graeca mit Milchröhren und krystallführendem oder stärkehaltigem Parenchym. Vergr. 1 : 370.

Das Markgewebe, wo es nicht — wie bei den hohlstengeligen Stauden und Holzgewächsen — zum Theil oder im ganzen Umfange abstirbt und aufgelöst wird, bleibt wenigstens zum Theil und — die Steinzellen ausgenommen — während der ganzen Dauer des Lebens der Pflanze thätig und dient der Aufspeicherung von Reservestoffen während der Ruhezeit und deren Umwandlung in flüssigen Zustand während der Wachsthumsperiode. Seltener enthalten zerstreut stehende Einzelzellen (Idioblasten, Sachs) oder in Längsreihen über einander stehende Zellen mit häufig verkorkten Wänden Secretionsstoffe, wie unorganische Salze in Form von einzelnen Krystallen, Zwillingskrystallen oder Krystalldrusen (Ficus, Asclepias,

Digitized by Google

Bryonia, Hoya, Periploca, Fig. 200, IV, S. 304 und Fig. 202, S. 307), ferner Harze, Oele, Gummiarten, Farbstoffe und dergleichen. Um den Inhalt des Markgewebes und dessen Umwandlungen kennen zu lernen,

Fig. 203.

Fig. 203. Milchsaftgang aus dem Marke von Cnicus Oleraceus. a im Querschnitt, b im Längsschnitt. P Parenchym des Markes, y die den Gang begrenzenden kleineren Zellen, welche im Längsschnitt von der hinteren Wand her durchscheinen. Vergr. 1 : 120.

muss man dasselbe sowohl im Herbste und Winter, als im Frühlinge und Sommer untersuchen, und sich dabei der schon mehrfach erwähnten Reagentien bedienen.

2. Rinde.

Als Rindengewebe fasse ich nur den Theil des Grundgewebes auf, welcher in den Achsenorganen zwischen den Gefässbündeln, beziehentlich den Bündelscheiden und der Oberhaut oder dem Korkgewebe liegt. Der Bast ist in morphologischem Sinne nicht zu der Rinde zu zählen, wie man das unter der Bezeichnung „secundäre Rinde" noch vielfach zu thun pflegt, sondern es gehört derselbe dem Stranggewebe, d. h. dem Gefässbündel an.

Zu dieser Einschränkung des Begriffes von Rinde berechtigt zunächst die ganze Entwickelungsgeschichte der Dikotyledonen, noch mehr aber der Bau des Stengels der Monokotyledonen. Hier nimmt nämlich der Basttheil seine Stellung an der Aussenseite jedes einzelnen der getrennten Gefässbündel, und müsste man, wenn man consequent verfahren wollte, jedem derselben auch eine Rinde zuerkennen, was sicherlich ungereimt erscheinen dürfte.

Digitized by Google

Das Rindengewebe in dem angegebenen Sinne (primäre Rinde der Autoren) geht unmittelbar aus dem Urgewebe des Vegetationskegels, und zwar aus dem von Hanstein und anderen Autoren als „Periblem“ bezeichneten Theile desselben hervor, und es vergrössert seinen Umfang dann anfangs nur kurze Zeit durch Zelltheilung. Die weitere Ausbildung desselben beruht bei der Mehrzahl (ob bei allen?) der einjährigen Pflanzen bloss auf dem Wachsthume (Ausdehnung nach tangentialer Richtung) der aus dem Urgewebe hervorgegangenen Zellen. Der gleiche Fall wiederholt sich bei jenen perennirenden Pflanzen, die ihre Rinde durch ein unter ihr entstandenes Korkgewebe abwerfen. Dagegen bleiben einzelne Partien des Rindengewebes solcher Gewächse, welche, wie Viscum, Ilex, manche blattlose Euphorbien u. s. w., die Rinde entweder gar nicht, oder doch erst nach längerer Zeit durch Korkbildung abstossen, ferner bei den ausdauernden Pflanzen mit durch das nachgebildete Bildungsgewebe vermitteltem Dickenwachsthum fortbildungsfähig und erzeugen als Mutterzelle durch radiale Theilungen neue gleichartige Gewebezellen.

Das Rindengewebe ist seiner ganzen Ausdehnung nach im Wesentlichen nur aus einer einzigen Zellenart, d. h. aus Parenchymzellen zusammengesetzt, die theilweise dünnwandig und gleichartig bleiben, theilweise in verschiedener Weise verdickt und öfter auch in der Form geändert erscheinen können. Es lassen sich hiernach, wenigstens bei einer grossen Anzahl von Gewächsen, zwei Rindenschichten, eine innere und eine äussere, unterscheiden.

Innenrinde. — Die innere Rindenschicht, Innenrinde, besteht in der Regel aus dünnwandigen Zellen, deren anfänglich isodiametrisch-polyëdrische Form sich später entweder dem Sphäroid sowie der Strahlenform nähert, oder als eine mehr oder minder regelmässig polyëdrische erscheint. Im ersten Falle sind die Berührungsflächen der Zellen oft sehr klein und es entsteht ein ziemlich unvollkommenes, durch grössere und kleinere Lücken unterbrochenes Gewebe; im anderen Falle dagegen nähert sich das letztere mehr dem regelmässig polyëdrischen Markgewebe.

Eine Verholzung der in der Regel nur wenig, und zwar meist einfach porös oder netzförmig, nur in den bei dem Mark erwähnten Familien durch Schleimschichten mehr oder weniger stark verdickten Zellwand tritt bei der Mehrzahl der Gewächse in der Innenrinde niemals und nirgends, bei einer kleineren Anzahl, ähnlich wie im Marke, nur in einzelnen grösseren oder kleineren Gruppen oder Bändern von stark verdickten, sich schon in der jugendlichen Rinde meist durch ihre Grösse und den ungefärbten Inhalt auszeichnenden, meist fast würfelförmigen (Fagus, Fraxinus, Carpinus, Cytisus, Hoya, Picea u. s. w., Fig. 204, a. f. S.), seltener gestreckten (manche Chinarinden) Zellen, den Steinzellen (Sklereïden, Brachysklereïden, Makrosklereïden einzelner Autoren), auf.

Digitized by Google

Der Inhalt der Gewebezellen dieser Rindenschicht besteht entweder (nach innen) aus Reservestoffen, wie Stärkemehl, Gerbstoff oder (nach aussen) aus Chlorophyll, wo dann das letztere in der Regel den Ueberzug von Stärkekörnern bildet. Hier und da erscheinen auch unorganische Substanzen als Zellinhalt, welche dann entweder im Inneren von einzeln zerstreuten, oder von in längere oder kürzere senkrechte Reihen geordneten, rundlichen oder cubischen Zellen auftreten (Fig. 204, *d* und *kr*), wo sie einzelne oder in Bündel und Drusen gruppirte Krystalle bilden (Hoya, Bryonia, Allium etc.).

Fig. 204.

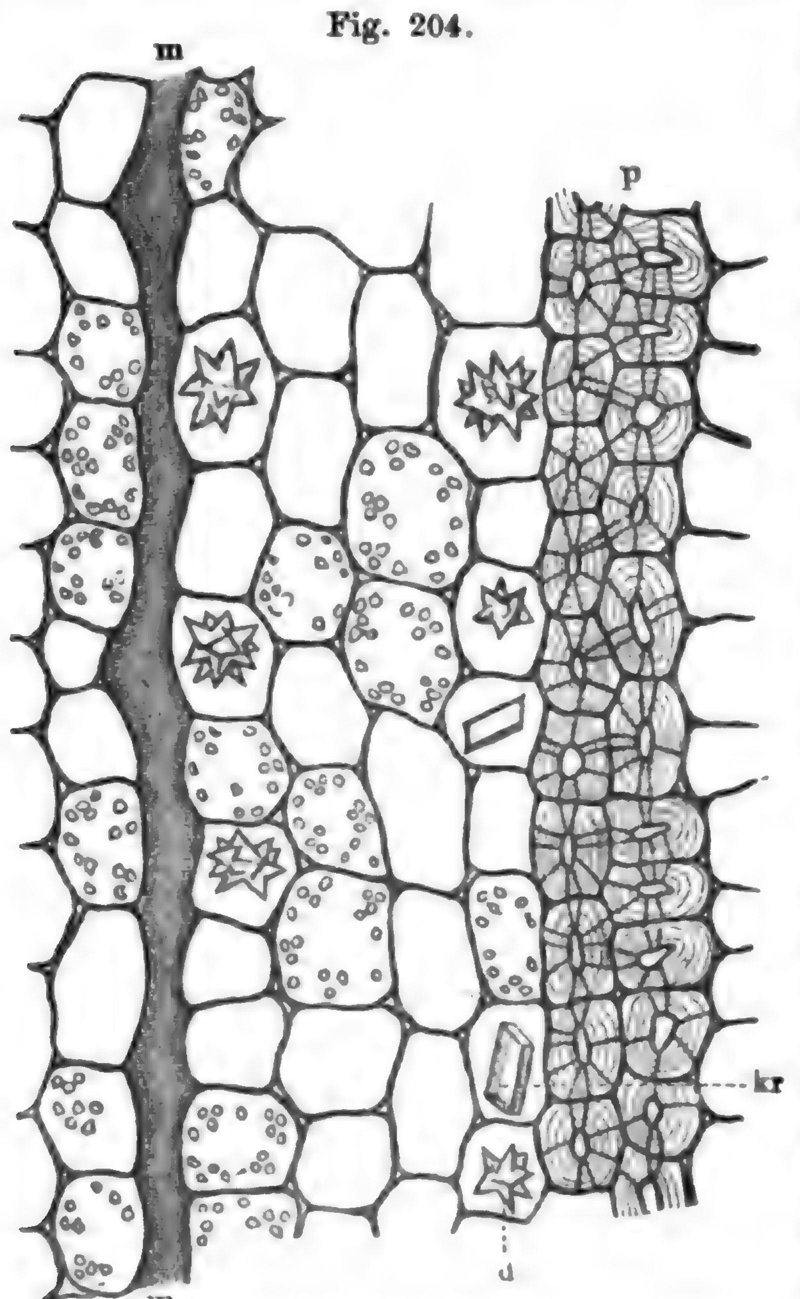


Fig. 204. Längsschnitt durch die innere Rinde des Stengels von Hoya carnosa. Neben dem dünnwandigen, theilweise stärkehaltiges Chlorophyll, theilweise Krystalle (*d* und *kr*) führenden Parenchym erscheinen Bänder sehr stark verdickter, poröser Parenchymzellen (*p*) und Milchsaftgefässe (*m m*). Vergr. 1 : 250.

Andere Gewebeelemente, als Parenchymzellen, kommen nur bei bestimmten Pflanzen und Pflanzengruppen in der inneren Rinde vor. Dahin gehören vornehmlich die Milchröhren der milchsaftführenden Gewächse (Fig. 204, *m*), bei denen sich übrigens häufig ein Zusammenhang mit den gleichen Elementen im Umfange des Bastbündels nachweisen lässt, indem dieselben entweder mit jenen durch horizontale Seitenäste in Verbindung stehen (Cichoriaceen etc.), oder gar nur in das Rindengewebe dringende Abzweigungen derselben bilden (Euphorbien, Hoya etc.). In der inneren Rindenschicht des Blattstieles der Cycadeen kommen einzelne sowie gruppenweise geordnete bastfaserähnliche Zellen (Makrosklereïden) vor. Aehnliche Zellen und Zellengruppen lassen sich in der Rinde von Ephedra, welche durchaus gleichartig ist, also nicht in Aussen- und Innenrinde zerfällt, letztere dicht unter der Epidermis (Fig. 205, *b*), erstere weiter nach innen (Fig. 205, *b'*), dann in der durch verholzte Zellen von dem Gefässbündel geschiedenen Rinde von Gnetum beobachten. Ebenso treten in dem Rindengewebe mancher Monokotyledonen (Musa, Scindapsus, Caladium, Phoenix, Chamaedorea) vereinzelte Bündel von solchen auf.

Digitized by Google

Innerhalb dieser Rindenschicht kommen auch die für manche Pflanzen charakteristischen Harz-, Oel-, Gummi-, Gummiharz-, Schleim- und Milchsaftgänge vor, welche in ihrem Baue mit den gleichnamigen Behältern des Markgewebes vollkommen übereinstimmen.

Fig. 205.

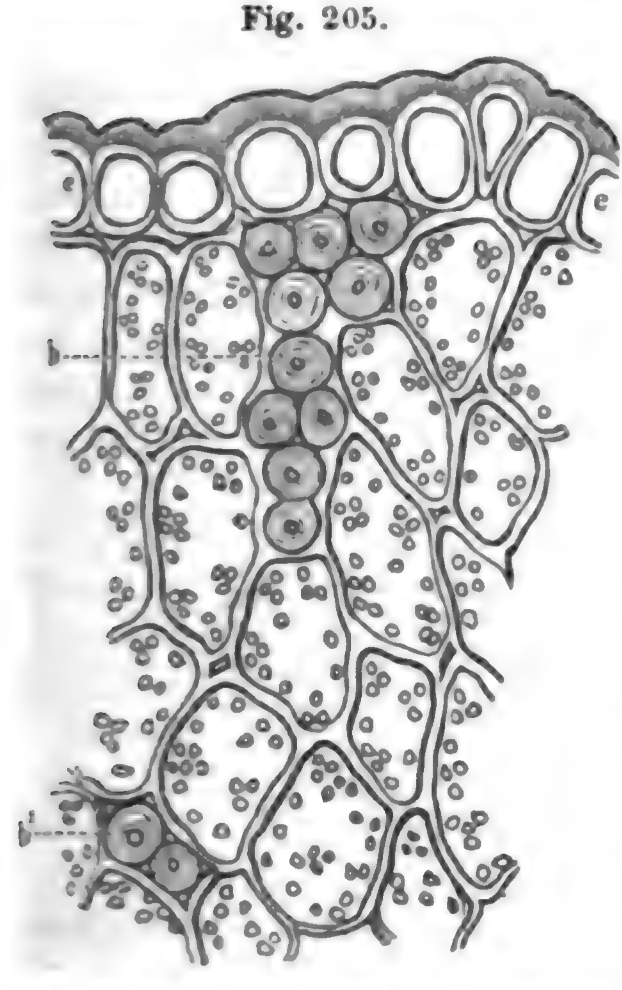


Fig. 205. Querschnitt durch die Rinde des Stengels von Ephedra distachya. *b* Bündel von Bastzellen dicht unter der Epidermis, *b'* vereinzelte Bastzelle in dem Rindenparenchym, *ee* Epidermis. Vergr. 1 : 370.

Aussenrinde. — Die äussere Schicht des Rindengewebes zeigt bei den meisten zweisamenlappigen Gewächsen auf dem Querschnitte neben rundlichen oder regelmässigen, wenig oder nicht verdickten, die bis zur Oberhaut reichende Fortsetzung der Innenrinde bildenden, noch Gruppen von eigenthümlichen, sehr häufig in senkrechter Richtung mehr oder minder gestreckten, öfter durch spätere Quertheilungen gefächerte Parenchymzellen, oder sie besteht ganz aus den letzteren, welche sich durch die unregelmässige, meist auf die Ecken beschränkte, mehr oder minder starke, in der Regel mehr oder weniger gelatinös und eigenartig glänzend erscheinende Verdickung ihrer Wandungen, sowie durch ihr meist ohne Intercellularräume erfolgendes Aneinanderschliessen auszeichnen (Fig. 206, a. f. S.). Man hat aus dem ersteren Umstande Veranlassung genommen, den aus dieser Zellenform zusammengesetzten Gewebetheil mit dem Namen Collenchym zu bezeichnen, während ihn manche Autoren, seiner Lage unter der Oberhaut halber, mit dem Namen Hypoderm belegen.

Wo die äussere Rindenschicht aus dünnwandigen Parenchym- und Collenchymzellen zusammengesetzt ist, da erscheinen die letzteren in mehr oder minder grossen, mit mehr oder minder mächtigen Gruppen der ersteren abwechselnden Bündeln, welche ihre Stellung über den Bastgruppen des Gefässbündels, bei kantigen Stengeln in deren vorspringenden Kanten nehmen, während die dünnwandigen, bis dicht unter die Epidermis reichenden Elemente den Markstrahlen gegenüberstehen. Die Collenchymzellen erscheinen in diesem Falle bisweilen bedeutend in die Länge gestreckt und mit gleichmässig verdickten Wänden und porösen, secundären Verdickungsschichten (manche Umbelliferen u. a.), so dass sie gleichsam den Uebergang von langgestreckten Parenchymzellen in Faserzellen bilden, von denen sie sich durch ihre reihenweise Uebereinander-

Digitized by Google

stellung und die meist wenig verdickten, porösen, horizontalen oder geneigten Querscheidewände unterscheiden. In dieser Anordnung findet

Fig. 206.

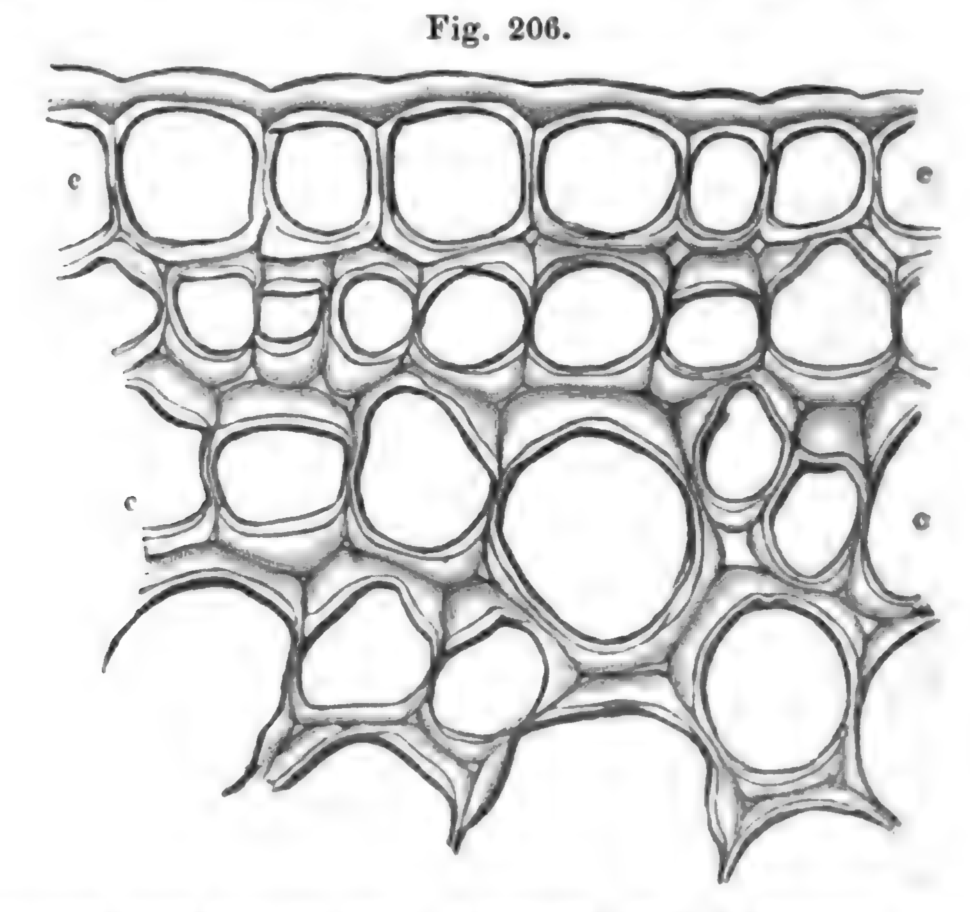


Fig. 206. Querschnitt durch das Collenchym von Sonchus asper. *e* Epidermis, *c* Collenchymzellen. Vergr. 1 : 670.

man das Collenchym bei den Cichoriaceen, Solanaceen, Malvaceen, Umbelliferen, Chenopodiaceen, Amaranthaceen.

In Form einer zusammenhängenden, nur unterhalb der Spaltöffnungen durchbrochenen Schicht erscheint das Collenchym in den grünen Achsentheilen der grossen Mehrzahl der Gewächse, wo es bald in grösserem Umfange und deutlich abgegrenzt auftritt (Cacteen, Euphorbien, Piperarten, Begonien, Rosen, Ailanthus, Aristolochia Sipho, Ficus), bald aus mehreren oder wenigen, unter der Oberhaut liegenden Zellenreihen besteht und dann fast unmerklich in das Gewebe der inneren Rindenschicht übergeht. Als einer ihrer Masse nach stark oder mässig stark entwickelten Schicht begegnen wir dem fraglichen Gewebe vorzugsweise bei Ficus, Sambucus, Viburnum, Nerium Oleander, Vitis vinifera, Rhus, Ptelea, Acer, Aesculus, Cornus, Hedera u. s. w., während es sich in wenigen Reihen, also ein schmales Band bildend, bei unseren meisten Holzgewächsen findet.

Die Zellwand der Collenchymzellen besitzt meistens eine durch den, wie die betreffenden Färbungen mittelst der öfter erwähnten Färbeflüssigkeiten erweisen, hohen Gehalt an Pectose bedingte, weiche, schon in Wasser etwas quellende Beschaffenheit, was sich schon durch das Aussehen unter dem Mikroskope verräth, noch mehr aber bei der Behandlung mittelst Reagentien, wie Jod und Schwefelsäure, Chlorzinkjodlösung u. s. w., welche erstere eine dunklere, letztere eine hellblaue

Digitized by Google

Färbung bewirken, hervortritt. Dieselbe verholzt nur in einzelnen Fällen, wie bei manchen Umbelliferen (Angelica silvestris u. a.), aber auch dann nie so vollständig, dass nicht nach längerer Einwirkung von Chlorzinkjodlösung oder von Jod und Schwefelsäure die Reaction auf Zellstoff deutlich hervortritt. Die secundären Verdickungsschichten, welche sich in der Regel vorzugsweise in den Ecken in grösserer Mächtigkeit ablagern, sind an den dünneren Stellen in verschiedener Weise gestaltet. Man trifft hier sowohl poröse als netzförmig und spiralig verdickte Zellen (Sambucus, Helleborus).

Eigenthümlich gestalten sich die Verhältnisse bei Lonicera, Berberis und Clematis. Hier geht nämlich das chlorophyllhaltige, bei Clematis namentlich über den primären Bastbündeln mächtig entwickelte, in den Ecken der Zellen stark verdickte, bei den ersteren Gattungen nur wenigreihige, minder stark verdickte, aber doch deutlich gekennzeichnete Collenchym nach innen in mächtige Lagen eines ziemlich weitzelligen, aus mässig allseitig verdickten, gestreckten Zellen bestehenden Gewebes über, so dass eine zwei-, beziehentlich verschiedenschichtige Aussenrinde auftritt (Fig. 207).

Fig. 207.

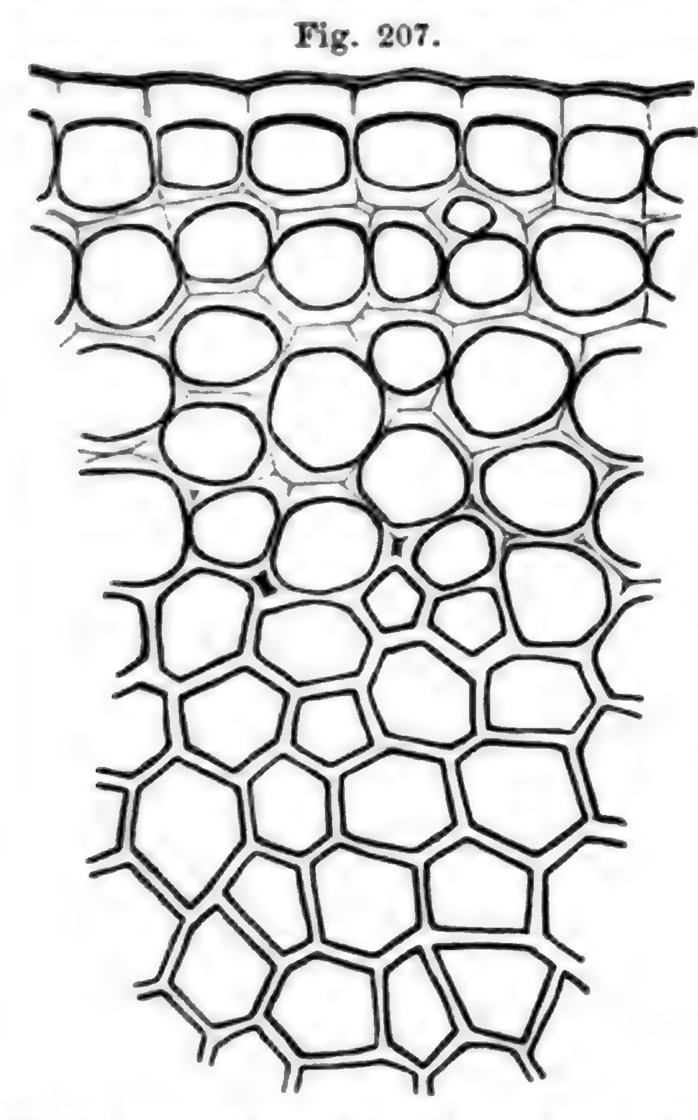


Fig. 207. Querschnitt durch die Aussenrinde eines jungen Triebes von Clematis Vitalba. Vergr. 1 : 360.

Als Inhaltselemente erscheinen in den Zellen des Collenchyms meist wasserklare und bei Pflanzen mit farbigen Stengeln violett bis roth gefärbte Zellsäfte, bisweilen auch — namentlich in jüngerem Zustande — Chlorophyll und Stärke, dagegen habe ich nur selten Krystalle von Kalkoxalat darin gefunden (Periploca z. B.).

Um die für das Rindengewebe in Betracht kommenden Verhältnisse zu studiren, muss man End- oder Seitenknospen, sowie jüngere und ältere Zweig- beziehentlich Stengel-(Stamm-)Internodien von ruhenden sowohl als von im Wachsthum begriffenen Pflanzen untersuchen.

Zarte Quer- und Längsschnitte durch den Vegetationskegel eines in der Entwickelung begriffenen Stammes oder Zweiges zeigen den Uebergang des Urgewebes in das Rindengewebe. Das letztere erkennt man an den dem Vegetationskegel zunächst gelegenen Theilen der Schnitte als anfänglich aus noch wenigen Reihen von höchst zartwandigen Zellen

Digitized by Google

bestehend. Schreitet man dann an dem Längsschnitte oder mittelst neuer Quer- und Längsschnitte an dem Internodium weiter abwärts, so beobachtet man neben der Vermehrung der Zellreihen die allmälige Volumvergrösserung der Gewebezellen und überzeugt sich zugleich, ob und inwieweit noch eine fernere Neubildung von Zellen stattfindet oder nicht. Die Sonderung in die äussere und innere Rindenschicht stellt sich hierbei gleichfalls der Beobachtung dar und kann man die allmälige Wandverdickung der Collenchymzellen verfolgen.

Wo fremde Gewebeelemente sich in der Rinde einfinden, geben zarte Längsschnitte die nöthigen Thatsachen an die Hand, um zu entscheiden, ob dieselben nur Verzweigungen der gleichen Zellformen des Bastbündels sind und inwiefern und auf welche Weise sie mit denselben in Verbindung stehen, oder ob sie, sich aus dem Urparenchym unmittelbar entwickelnd, als gewissermaassen selbständige Elemente der Lage nach von dem Gefässbündel resp. dessen Basttheile getrennt verbleiben (wie einzelne Milchröhren der Euphorbiaceen, Moreen etc.).

Um die Umwandlungen des Inhaltes der Rindenzellen zu verfolgen, hat man passende Schnitte während der Ruheperiode sowohl als während des Wachsthums und dann in, der Zeit nach, nicht zu weit von einander entfernten Zwischenräumen mittelst der schon früher zu diesem Zwecke empfohlenen chemischen Reagentien zu prüfen.

III. Hautgewebe.

1. Oberhaut.

Das Oberhautgewebe besteht, mit wenigen Ausnahmen, in denen später tangentiale Zelltheilung der Oberhautzellen eintritt (Blätter mancher Begonien, Piperaceen, Ficusarten u. s. w.), bloss aus einer einzigen Lage und nimmt seinen Ursprung unmittelbar aus dem Urparenchym, indem dessen äussere Zellschicht zu einer noch längere Zeit theilungsfähigen (dem Hautbildungsgewebe, Dermatogen der Autoren) wird. Die Oberhaut fehlt keinem nach aussen gewendeten, einen Zellkörper bildenden Gliede der stengelbildenden Gewächse, mag dieses ein Seiten- oder Achsenorgan sein. Bei den Achsenorganen bleibt dieselbe jedoch entweder nur so lange erhalten, als die Korkbildung noch nicht so weit fortgeschritten ist, dass sie durch letztere abgeworfen und durch den Kork ersetzt wird, oder sie dauert längere Zeit bis zeitlebens (Ilex, Viscum u. a.) und seine Zellen bleiben häufig noch längere Zeit, oft sogar bis in ein verhältnissmässig hohes Alter (Viscum, Ilex) fortbildungsfähig, so dass es mit Leichtigkeit der Verdickung der Achsenorgane folgen kann.

a) Form, Verdickungsweise und Inhalt der Oberhautzellen.

Die Oberhaut, welche in der Regel aus einer einzigen Zellreihe gebildet wird, seltener durch nachfolgende Zelltheilungen als unterbrochen

Digitized by Google

oder fortlaufend zwei- bis mehrschichtig auftritt (Peperomia-, Ficus- und Begoniaarten, Fig. 69, VI, S. 132), besteht, mit seltenen Ausnahmen (Blätter von Ceratozamia und Torreya, wo spindelförmige Zellen auftreten), aus ohne Intercellularräume an einander schliessenden Parenchymzellen, die in radialer Richtung (auf dem Querschnitt) theils mehr oder minder abgeplattet (tafelförmig), d. h. weniger hoch als lang und breit, theils gleich hoch oder wenig höher als breit, seltener — Oberhaut von Viscum, der Samen — von prismatischer Form sind (Fig 67, I bis III, S. 130 und Fig. 215, I bis III, S. 328). Bei den Achsenorganen langsam in die Länge wachsender Pflanzen sind die Zellen derselben in der Längsansicht in der Regel von gleicher Breite und Länge oder kaum in die Länge gestreckt, dagegen erreichen sie bei sehr rasch wachsenden Gewächsen oft eine nicht unansehnliche Länge, während nur selten (bei

Fig. 208.

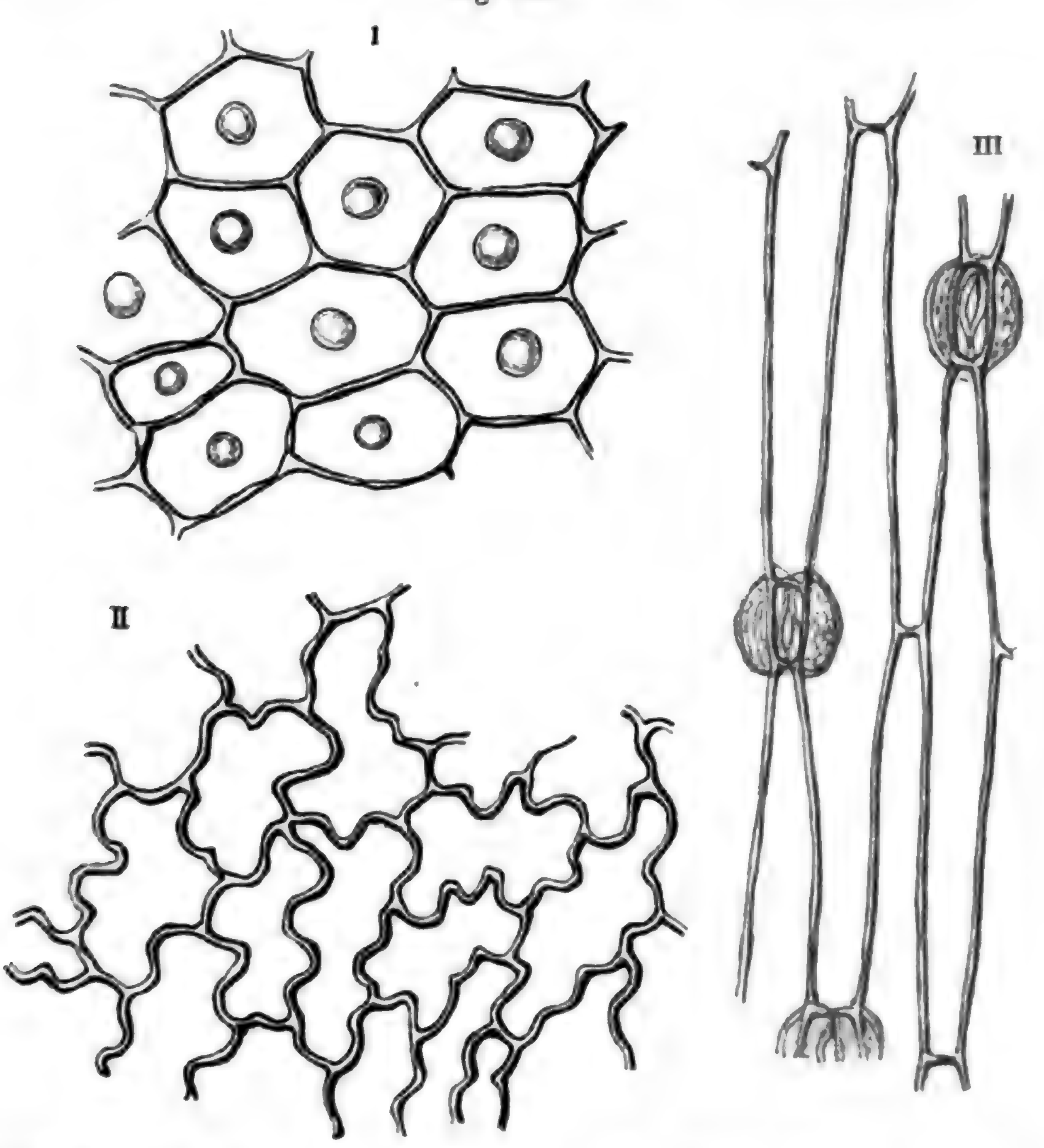


Fig. 208. Verschiedene Formen der Oberhautzellen. I aus dem Blatte von Aloë succotrina (polygonal). II aus dem Blatte von Polypodium vulgare (buchtig). III aus dem Blatte von Iris germanica (langgestreckt). Vergr. 1 : 250.

den Gramineen) einzelne kurze Zellen mit denselben abwechseln. In beiden Fällen nähert sich ihre Gestalt mehr dem regelmässigen oder dem gestreckten Vieleck und zeigt nur in selteneren Fällen unregelmässige Formen. Die Oberhaut der Blätter zeigt fast nur bei den Monokotyledonen die langgestreckte Zellenform (Fig. 208, III, a. v. S.); dagegen erscheint sie bei den Dikotyledonen nur an bestimmten Stellen, und es treten sonst entweder ziemlich regelmässig polygonale oder mehr oder minder unregelmässige, sternförmige, wellige (Fig. 208, I u. II, a. v. S.) und andere, bisweilen auch in die Breite gedehnte (Cycas, Encephalartos) Formen auf.

Die Zellwand der Oberhautzellen ist nur höchst selten, und zwar nur bei sehr zarten und weichen Blättern und Stengeln nur wenig verdickt und besteht dann, mit Ausnahme eines höchst zarten, über der nach aussen gewendeten Seite ausgespannten Häutchens der Cuticula (S. 318), aus reinem Zellstoff. In der Mehrzahl der Fälle begegnen wir dagegen mehr oder minder massigen, secundären — hier und da, und zwar bei den Samen von den S. 188 genannten Pflanzen in der ganzen Oberhaut, bei den Blättern der dort erwähnten Laubhölzer, in einzelnen Zellen oder in Zellengruppen, aus Schleim bestehenden — Verdickungsschichten, welche, während die auf ihnen senkrecht stehenden Seitenwände (Flankenwände) meist nur durch die Innenwand (tertiäre Wand), oder doch nur mässig verdickt erscheinen, in der Regel einseitig, und zwar auf der nach aussen, selten auf der nach innen (manche Bromeliaceen) gewendeten Seite der betreffenden Zelle abgelagert, nur in wenigen Fällen (Cycadeen, Nadeln von Pinus silvestris und Larix u. a.) allseitig entwickelt sind (Fig. 67, I bis III, S. 130; Fig. 215, I bis III, S. 328).

Bei manchen Pflanzen erscheinen der Zellwand anorganische Substanzen, so namentlich Silicium, Calciumoxalat und -carbonat eingelagert. Bei anderen finden sich über der Cuticula Wachsüberzüge in Form von mehr oder minder dicken Krusten (Blätter von Thuja, Biota, Sempervivum- und Euphorbiaarten, Kerria, Corypha cerifera, Stämme von Chamaedorea, Ceroxylon), Körnern [Blätter von Tulipa, Echeveria, Mesembryanthemum, Allium, Brassica oleracea, Ricinus, Abies pectinata u. a. (Unterseite)], Stäbchen (Blattunterseite von Aechmea farinosa, Heliconia farinosa, Blätter der weissen Eucalypten, von Andromeda speciosa und var., Elymus arenarius, Encephalartos, Stengelglieder von Saccharum officinale, Eulalia japonica). Endlich erscheinen bei Plumbagineen, Saxifragen und einzelnen Wasserpflanzen, wie Potamogeton, der Oberhaut, Kalkkrusten oder Kalkschüppchen aufgelagert.

Der Inhalt der Oberhautzellen besteht in der ersten Zeit ihres Lebens und so lange sie theilungsfähig bleiben, aus Protoplasma mit dem Kern und aus Zellsaft. Später führen sie entweder meist wässerigen Inhalt oder Luft. Nur in einzelnen Fällen findet man auch andere Stoffe, so in den Oberhautzellen der Blätter der Wasserpflanzen (Potamogeton, Ceratophyllum, Stratiotes, Aldrovanda, Elodea canadensis), der Blatt-

Digitized by Google

unterseite mancher dikotyler Landpflanzen, Chlorophyll, der Blätter von Laurus und junger Zweige von Ephedra, Chlorophyll und Stärke, in einzelnen Zellen von Citrus grosse Krystalle, welche bei Vanilla planifolia in allen Oberhautzellen, und zwar in der Regel zu je einem erscheinen.

b) Cuticularmetamorphose.

Ein besonderes Interesse gewährt die chemische Beschaffenheit der ausgebildeten Oberhautzellen und hat man vorzugsweise jenes Verhalten ins Auge zu fassen, welches die Umbildung der verschiedenen Zellwandschichten betrifft und unter dem Namen Cuticularmetamorphose bekannt ist.

Diese Umbildung ergreift unter allen Umständen die äusserste Wandschicht, welche zu der Cuticula wird, während die primäre Wandung, sowie die secundären Verdickungsschichten ihr entweder gar nicht, nur theilweise oder ganz anheimfallen, so dass man Oberhautzellen mit und ohne Cuticularschichten unterscheiden kann.

Cuticula. — Die Cuticula, welche aus der sich optisch und chemisch der Cambialwand ähnlich verhaltenden Erstlingswand der jungen Oberhautzellen hervorgegangen ist, und neben von der Cambialwand an unverändert gebliebenen, theilweise oder in ihrer Gesammtheit chemisch umgebildeten (cuticularisirten) Wandschichten nur einen höchst geringen Antheil an dem Aufbau der später mehr oder minder stark verdickten Aussenwand nimmt, überzieht die ganze Oberhaut als ein zusammenhängendes, durch das weiter unten näher zu betrachtende chemische Verhalten sich auszeichnendes Häutchen.

Nur bei einer verhältnissmässig geringen Anzahl von Pflanzen bleiben die sämmtlichen Zellwandschichten von der primären Wand bis zu der Innenwand chemisch unverändert, so dass sich in ihnen auf allen Altersstufen der reine Zellstoff nachweisen lässt. Die zusammengesetzten Jodlösungen, ebenso Jod und Schwefelsäure färben solche Oberhautzellen durch alle diese Schichten in der bekannten charakteristischen Weise, während eine äusserste, sehr dünne Schicht, soweit sie zwischen den Primärwänden der Oberhautzellen verläuft, nicht, über der Aussenseite der Verdickungsschichten aber, und soweit sie mit der atmosphärischen Luft in Berührung ist, gelb, gelbröthlich bis braun gefärbt wird (Fig. XVII, 1). Während also die zuerst über der Zellhaut abgeschiedene Cambialwand zwischen den sich berührenden Oberhautzellen zur Intercellularsubstanz wird, ist die nach aussen gewendete Erstlingswand derselben durch eine unter dem Einflusse äusserer Agentien vor sich gegangene chemische Umbildung und die Verschmelzung zu einem zusammenhängenden Häutchen in die Cuticula übergegangen. Hier und da dringt die Metamorphose auch etwas in die primären Seitenwände vor, so dass sich die dunkle Färbung keilförmig zwischen die

Digitized by Google

secundären Schichten hineinzieht (Fig. XVII, 2). Zu den Pflanzen, bei denen die Verdickungsschichten der Oberhautzellen nicht cuticularisirt werden, gehören viele Liliaceen und Aroideen, die einheimischen Orchisarten, manche Umbelliferen, Dipsacus u. a.

Cuticularschichten. — Bei der grossen Mehrzahl solcher Pflanzen, welchen eine Oberhaut mit stärker verdickten Zellen eigen ist, begegnen wir jener eigenthümlichen Umwandlung der primären Zellwand, sowie der secundären Verdickungsschichten, hier und da auch der Innenwand, welche oben mit dem Namen der Cuticularmetamorphose bezeichnet wurde und welche manchmal auch ganz entschiedene Eingriffe in die Structurverhältnisse beobachten lässt (vergl. Fig. XVIII bis XXII, Taf. II, nebst Erklärung). Die Verdickungsschichten erhalten dann den Namen Cuticularschichten, während auch hier die Bezeichnung Cuticula für das meist zarte Häutchen bleibt, welches die Aussenwand der betreffenden Zellen continuirlich überzieht und sich in frischen Schnitten von den darunter liegenden Wandschichten durch eine eigene Begrenzung, an mit Reagentien behandelten Präparaten durch eine hellere oder dunklere Färbung unterscheidet.

Von der Cuticularmetamorphose, welche in der Regel ähnliche Veränderungen hervorbringt, wie die als Verkorkung bekannte Umbildung der Zellwände des Korkgewebes, in einzelnen Fällen auch auf einer einfachen Verholzung beruht, lassen sich mehrere Modificationen unterscheiden, welche man nicht selten an verschiedenen Exemplaren derselben Pflanzenart, ja bisweilen an ein und demselben Gliede der nämlichen Pflanze auf verschiedenen Altersstufen beobachten kann und deren Verfolg für die Erkenntniss der verschiedenartigen Umbildungsweise der Baustoffe der Zellwände, beziehentlich der Einlagerung fremder Verbindungen zwischen die Molecüle derselben nicht ohne Interesse ist.

Die einzelnen Fälle, welche hier vorzugsweise in Betracht kommen, sind folgende:

1. Es zeigen die Umwandlung in Cuticularschichten nur die Primärwand nebst einigen oder allen mittleren Verdickungsschichten, und dann bloss nach der Aussenseite, während die innerste Verdickungsschicht, also die Innenwand, nach allen Seiten hin, die anderen Schichten aber, soweit sie vorhanden sind, in den Seiten- und Innenwänden der Oberhautzellen ihre ursprüngliche chemische Beschaffenheit bewahren. Dies ist der Fall bei der Oberhaut des Stengels und Blüthenschaftes mancher Monokotyledonen und der meisten lederartigen und glänzenden Blätter (Nerium, Ficus elastica, Hoya, tropische Orchideen u. s. w.). Die cuticularisirten secundären Schichten können dabei entweder gleichartig verändert erscheinen (Fig. XVIII, 1 bis 5), oder in mehrere optisch und chemisch verschiedene Schichten zerfallen (Fig. XVIII, 6), wo dann, wie die Anwendung polarisirten Lichtes lehrt, die älteren immer verkorkt, die jüngeren aber häufig nur verholzt erscheinen.

Digitized by Google

2. Es erleidet die Primärwand bis hinab in die Seitenwände der Epidermiszellen die Cuticularmetamorphose, während die secundären Verdickungsschichten nur nach der Aussenseite hin verändert werden, dagegen in den Innen- und Seitenwänden Zellstoffreaction zeigen (Blattnerv von Nerium, Blatt von Aloë, Gasteria, Ruscus etc.) (Fig. XIX, 1 bis 3).

Das in diesem Falle zu beobachtende keilförmige Vordringen der Cuticularschichten in die Seitenwände beruht nicht sowohl auf der Cuticularisirung der letzteren, als vielmehr auf der Ablagerungsweise der betreffenden Zellwandschichten, die sich mehr oder minder nach aussen wölben.

3. Die Cuticularmetamorphose ergreift — und zwar bisweilen mit Einschluss der Innenwand — die ganze obere Zellwandhälfte, während die ganze untere Hälfte in allen dort entwickelten Schichten chemisch unverändert bleibt (Fig. XX). So z. B. an den jüngeren Stengelgliedern von Viscum und Ficus elastica, an den Blättern mancher tropischen Orchideen (Dendrobium u. a.).

4. Es werden unter einem den unter 1. bis 3. geschilderten Modificationen gemässen Verhalten der Aussenwand entweder die Primärwand allein (Fig. XXI, 1 bis 3), oder neben ihr auch der allseitig mehr oder minder mächtig entwickelte mittlere secundäre Schichtencomplex ganz oder theilweise über den ganzen Umfang cuticularisirt, während die Innenwand unverändert bleibt (Fig. XXI, 4 bis 6) (Stengel von Ephedra, die jungen Sprossen von Smilax rotundifolia u. a., Blatt von Phormium tenax, Fiederblatt von Cycas, Ceratozamia, Dion etc.).

Auch bei diesen drei Modificationen der Cuticularmetamorphose können entweder sämmtliche cuticularisirte Schichten gleichartig verändert sein oder verschiedenartige, theils verkorkte, theils verholzte Partien erkennen lassen, die nicht selten an demselben Pflanzenorgane zum Ausdrucke gelangen. Hierfür bietet das Verhalten der Oberhautzellen des Fiederstieles und Blattes von Cycas (Fig. XXI, 2 bis 5) ein instructives Beispiel, was wohl auch die Ursache ist, dass wir gerade von diesem Objecte so verschiedene Darstellungen besitzen (Schleiden, v. Mohl, Schacht, Wigand).

5. Die ganze Zellwand wird durch sämmtliche Verdickungsschichten allseitig cuticularisirt, und es ergreift die chemische Umbildung nicht selten auch die nächst unterliegenden Zellen ganz oder zum Theil. So bei den Nadeln von Pinus silvestris, den älteren Stengelgliedern von Viscum, Ficus elastica und Smilax rotundifolia u. s. w. (Fig. XXII, 1 bis 3). Bei den letzteren Pflanzen ist indessen das Umwandlungsproduct in den Oberhautzellen und den unter ihnen gelegenen Zellen der mehrschichtigen Oberhaut oder der Aussenrinde ein verschiedenes, indem erstere verkorkte, letztere verholzte Wände besitzen, was namentlich aus der noch zu besprechenden Doppelfärbung, sowie aus dem Verhalten gegen polarisirtes Licht erhellt.

Digitized by Google

Die Structur der Cuticularschichten stimmt im Ganzen mit jener der übrigen Verdickungsschichten überein. Häufig erkennt man dieselben schon auf einem recht zarten Querschnitte unzweifelhaft als geschichtet. Wo dies indessen auch nicht der Fall ist, da tritt die Schichtung auf das deutlichste hervor, wenn man die betreffenden Präparate mit mehr oder minder concentrirter Schwefelsäure oder Aetzkali behandelt. Oft bedarf es sogar dieser Mittel nicht und schon die Einwirkung der Chlorzinkjodlösung gewährt einen klaren Einblick in diese Verhältnisse.

Porencanäle trifft man in denselben seltener, als in den Verdickungsschichten der übrigen Zellenarten. Sehr schön entwickelt finden sich dieselben indessen in den Oberhautzellen der Fiederblättchen von Cycas revoluta, der Nadeln von Pinus silvestris, Abies excelsa, in den grünen Stämmen der Chamaedoreaarten, sowie den jungen Trieben von Rosa canina (Fig. XXI, 2, 3 und 5, und XXII, 1). Bei Chamaedorea, Pinus und Abies lassen sich die Porencanäle bis zur primären Zellwand vordringend beobachten (Fig. XXII, 1), während sie bei Cycas sowohl als bei Rosa nur die mittelst Chlorzinkjodlösung sich langsam violett färbende Innenwand und jüngsten secundären Verdickungsschichten durchsetzen und an der scharf abgegrenzten, älteren secundären Verdickungsschicht endigen (Fig. XXI, 2, 3 und 5).

Zur Beobachtung des Aufbaues der Oberhaut im Allgemeinen hat man zunächst höchst gelungene, zarte Querschnitte nöthig, welche man durch Schneiden zwischen Hollundermark (G., S. 371; H., S. 771) herstellt, dann bedarf man einer senkrecht zur Fläche geführten Längsansicht, sowie einer Flächenansicht, wozu man die Präparate leicht durch das Abziehen der Oberhaut oder, wo dies sich nicht ausführen lässt, mittelst eines ganz zarten Flächenschnittes von dem betreffenden Pflanzentheile gewinnen kann. Um sich über die Structur der Oberhautzellen, namentlich der Cuticularschichten und Cuticula, den nöthigen Aufschluss zu verschaffen, sind vorzugsweise höchst zarte, vollständig senkrecht geführte Querschnitte durch die grünen Stengeltheile, sowie durch die Blätter der betreffenden Pflanzen geeignet, und wird man die letzteren am besten zwischen Hollundermark oder Kork anfertigen. Ein bestimmtes Maass der Dicke lässt sich hier natürlich ebenso wenig feststellen, wie bei anderen Präparaten. Einen gewissen Anhaltepunkt giebt aber das optische Verhalten des frischen Schnittes, indem man letzteren als hinreichend dünn betrachten kann, wenn auch die stärker cuticularisirten Zellwandschichten fast oder ganz farblos erscheinen. Wo diese noch eine bemerkbare gelbliche oder grünliche Färbung zeigen, da besitzt der Schnitt die erforderliche Zartheit noch nicht. Längsschnitte durch dieselben Theile werden zwar in der Regel nichts Neues bringen, können dagegen die mittelst der Querschnitte gewonnenen Ansichten vervollständigen.

Hat man sich an solchen geeigneten Präparaten die erste Ein- und Uebersicht verschafft, so muss nun unbedingt eine Behandlung mittelst

Digitized by Google

chemischer Reagentien folgen, weil man nur hierdurch über die verschiedenen Arten, das Fortschreiten und die Gleichartigkeit oder Ungleichartigkeit der Umbildungsproducte ein klares Bild gewinnt und mit Sicherheit erfährt, in welcher Beziehung die eigentliche, immer nur in geringer Mächtigkeit entwickelte, niemals sehr bedeutend verdickte Cuticula zu der primären Zellwand steht. Gerade hierfür aber dürfen nur die zartesten Schnitte oder die dünnsten Stellen nicht ganz gleichmässiger Schnitte (die natürlich immer schwer zu erhalten sind und deren man auch gar nicht unbedingt bedarf) verwendet werden, weil sonst leicht dem wahren Sachverhalt nicht völlig entsprechende Ansichten zu Tage kommen.

Die Cuticula stimmt in ihrem chemischen Verhalten fast ganz mit der Intercellularsubstanz, mit der sie eben gleichen Ursprung theilt, überein. Zum Studium dieses Verhaltens bedarf es äusserst zarter Querschnitte durch die Oberhaut der Blätter und grünen Stengeltheile, namentlich mancher Aloëarten, von Dasylirium, Yucca, Smilax, Ruscus, Ilex, Hoya, Citrus, Helleborus u. s. w., welche man ganz in derselben Weise mittelst chemischer Reagentien behandelt, wie es oben bei der Intercellularsubstanz angegeben wurde. Auch hier empfiehlt sich die Färbung mittelst verschiedener Färbeflüssigkeiten. In denjenigen Färbeflüssigkeiten, welche verholzte Zellwandschichten färben, bleibt die Cuticula manchmal ungefärbt, so z. B. in Fuchsin, während sie andere Male sich den letzteren gleich färbt. Durch Hämatoxylin nimmt sie eine violette Farbe an und hebt sich deutlich von den Cuticularschichten ab, während sie andererseits mit der zwischen den nicht frei liegenden Wandtheilen vorhandenen Intercellularsubstanz von gleicher Färbung in deutlicher Verbindung erscheint (Fig. 210, S. 323). Im Uebrigen verweise ich in Bezug auf das chemische Verhalten gegen die Zellstoffreagentien, concentrirte Schwefelsäure, welche nicht lösend wirkt, das Schulz'sche Macerationsgemisch und Kalilauge, denen sie etwas mehr widersteht, als die Intercellularsubstanz, in denen sie aber schliesslich doch, namentlich unter Anwendung des Kochens darin, zur Lösung kommt, auf die beigegebenen Figuren XXIII und XXIV nebst deren Erklärung, und füge nur hinzu, dass man genau auf die Einwirkung der Kalilösung zu achten hat, damit man bei nachfolgenden Zellstoffreactionen nicht etwa die verschwundene, d. h. gelöste Cuticula als noch vorhanden und in Zellstoff umgewandelt ansieht, ein Versehen, das namentlich dann leicht eintritt, wenn man das erstgenannte Reagens längere Zeit bei gewöhnlicher Temperatur hat einwirken lassen.

Die Darstellung der Cuticula für sich, d. h. getrennt von der primären Zellwand und den Verdickungsschichten und etwa im Zusammenhang mit der Intercellularsubstanz, gelingt nur bei denjenigen Pflanzen in genügender Weise, wo letztere keine Verkorkung erlitten haben. Ein vorzügliches Material für derartige Präparate liefern die Blätter der Lebermoose, bei denen, da sie nur aus einer Zellenschicht bestehen, von

Digitized by Google

einer Oberhaut allerdings nicht die Rede sein kann, deren Randzellen sich aber ähnlich verhalten, wie die Oberhautzellen der höheren Gewächse. Vorsichtige Anwendung von concentrirter Schwefelsäure führt hier oft schon zum Ziele, indem die Zellstoffschichten sämmtlich aufgelöst werden, während die Cuticula im Zusammenhange mit der Intercellularsubstanz als höchst zartes Netzwerk zurückbleibt (Fig. 209, I). Bei denjenigen Pflanzen, wo die Zellwände der Oberhautzellen zwar alle oder theilweise verholzen, aber nicht alle vollständig verkorken (Monokotyledonen, Cycadeen, Farne), da lässt man der Anwendung der Schwefelsäure die Behandlung mit dem Schulz'schen Macerationsgemisch vorhergehen, indem man die betreffenden Präparate kurze Zeit damit erwärmt, so dass noch kein Zerfallen des Gewebes eintritt. Man erhält dann Präparate, in denen die Cuticula allein oder diese und die verkorkten Zellwand-

Fig. 209.

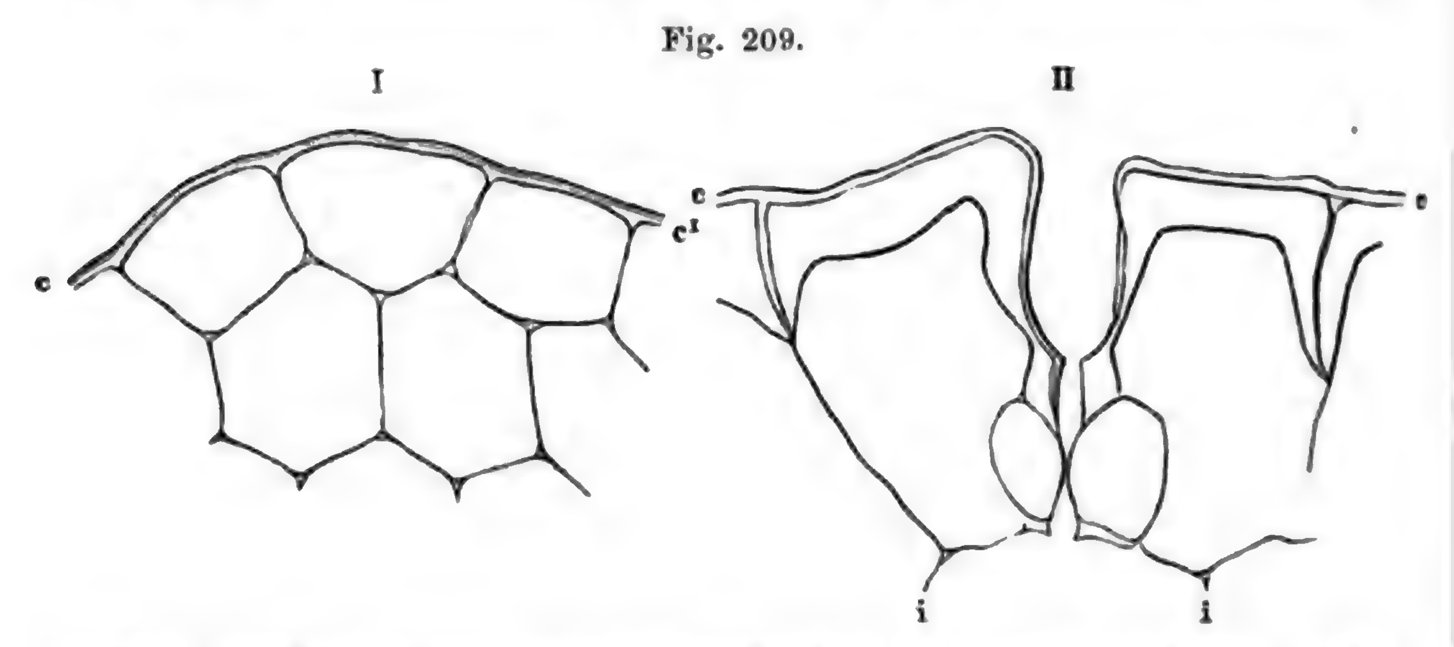


Fig. 209. I Cuticula und Netzwerk der Intercellularsubstanz von Plachiogila asplenoides. II Querschnitt durch eine Spaltöffnung von Gasteria verrucosa nach der Behandlung mit dem Schulz'schen Macerationsgemische und concentrirter Schwefelsäure. *c* Cuticula, *c*¹ Cuticularschichten, *ii* Intercellularsubstanz. Vergr. 1 : 600.

schichten zurückgeblieben sind (Cycas, Gasteria etc., Fig. 209, II). Den richtigen Zeitpunkt zu treffen, in welchem man dieses Verfahren, das die nöthige Geduld verlangt, zu unterbrechen hat, ist Sache der Uebung.

Bei den Cuticularschichten wird man zunächst das Verhalten gegen eine der zusammengesetzten Jodlösungen, Chlorzinkjodlösung, Chlorcalciumjodlösung oder Jodphosphorsäure, sowie gegen Jod und Schwefelsäure, und zwar bei kurzer sowohl als bei längerer, bis einen oder zwei Tage währender Dauer der Einwirkung studiren. Die nicht cuticularisirten Wandschichten werden dann die Blaufärbung zeigen (Fig. XXIII, I und XXIV, I). Hierauf schreitet man zur Behandlung mit den anderen, schon mehrfach erwähnten Reagentien. Lässt man concentrirte Schwefelsäure einwirken, dann tritt in der Regel die vorher nicht erkennbare oder undeutliche Schichtung deutlich hervor. Aetzkali wirkt kalt in ähnlicher Weise und bringt durch ein ziemlich starkes Aufquellen die verschiedenen Partien der Cuticularschichten zur Anschauung. Kocht man Querschnitte

Digitized by Google

kürzere oder längere Zeit (eine bis fünf Minuten) in dem letztgenannten Reagens, so wird zuerst die eigentliche Cuticula, dann von aussen nach innen vordringend die Intercellularsubstanz gelöst und die Oberhautzellen trennen sich (Fig. XXIII, II und III, und Fig. XXIV, II). In den Cuticularschichten wird der Korkstoff gleichfalls mehr oder weniger vollständig gelöst. Die so vorbereiteten Präparate, mit einem der genannten Jodpräparate oder mit Jod und Schwefelsäure behandelt, geben dann oft erwünschten Aufschluss darüber, bis zu welchem Grade die Verkorkung in den einzelnen Schichtenpartien beziehentlich in der Primärwand und secundären Verdickung vorgeschritten war, indem hiernach der Widerstand, welcher der Einwirkung des Aetzkalis geleistet wird, verschieden ist (Fig. XXIII, III, und Fig. XXIV, IV). Endlich erhält man durch Anwendung gewisser Färbeflüssigkeiten öfter recht belehrende Resultate. Doppelfärbung zunächst mit Hämatoxylin und nachdem Auswaschen mit Methylgrün lässt die cuticularisirten Zellwände oder Zellwandschichten häufig ungefärbt, während die verholzten grün, die chemisch unveränderten nebst Cuticula und Intercellularsubstanz violett gefärbt werden (Fig. 210). Aehnlich wirkt eine solche mit Rutheniumroth und Methylgrün, nur dass unter Farblosbleiben der verholzten Wände an die Stelle der violetten eine carminrothe Färbung tritt. Durch Anilinwasser-Safranin (gleiche Theile Anilinwasser und concentrirte alkoholische Safraninlösung) lässt sich nach Zimmermann ebenfalls eine Doppelfärbung verkorkter und verholzter Wandtheile erzielen, indem erstere einen mehr gelbrothen, die letztere einen mehr blaurothen Farbenton zeigen. Man verfährt dabei derart, dass man die Schnitte eine halbe Stunde oder länger in der Farbstofflösung belässt, dann mit Salzsäurealkohol begiesst, letzteren schnell durch absoluten Alkohol ersetzt und so lange mit demselben auswäscht, bis keine Farbe mehr abgegeben wird. Um cuticularisirte Wandschichten — und zwar ohne Rücksicht auf Verkorkung oder Verholzung — von nicht cuticularisirten zu unterscheiden, kann man nach dem Genannten auch eine Doppelfärbung mittelst Cyanin und Eosin

Fig. 210.

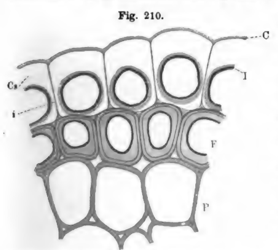


Fig. 210. Aus dem Querschnitte durch einen Stengel von Smilax rotundifolia. *C* Cuticula, *Cs* Cuticularschichten, *I* Innenwand, *i* Intercellularsubstanz, *F* Faserzellen, *P* Parenchym. Vergrösserung 1 : 500.

Digitized by Google

anwenden. Man bringt dazu die Schnitte für mehrere Stunden in eine frisch bereitete, sehr verdünnte wässerige Lösung von Cyanin (20 Tropfen einer concentrirten alkoholischen Lösung in 100 ccm Wasser), überträgt sie nach dem Auswaschen in Alkohol in eosinhaltiges Nelkenöl und schliesslich in Canadabalsam. Die cuticularisirten Wandschichten erscheinen dann blau, die Zellstoffschichten roth.

c) Spaltöffnungen.

Die Spaltöffnungen (Stomata) der höheren Gewächse, welche in der Regel nur bei den in der Luft wachsenden Pflanzen und den der Luft zugewendeten grünen Organen der Wasserpflanzen, insbesondere auf den Blättern oder auf der grünen Rinde des Stengels vorkommen, selten an

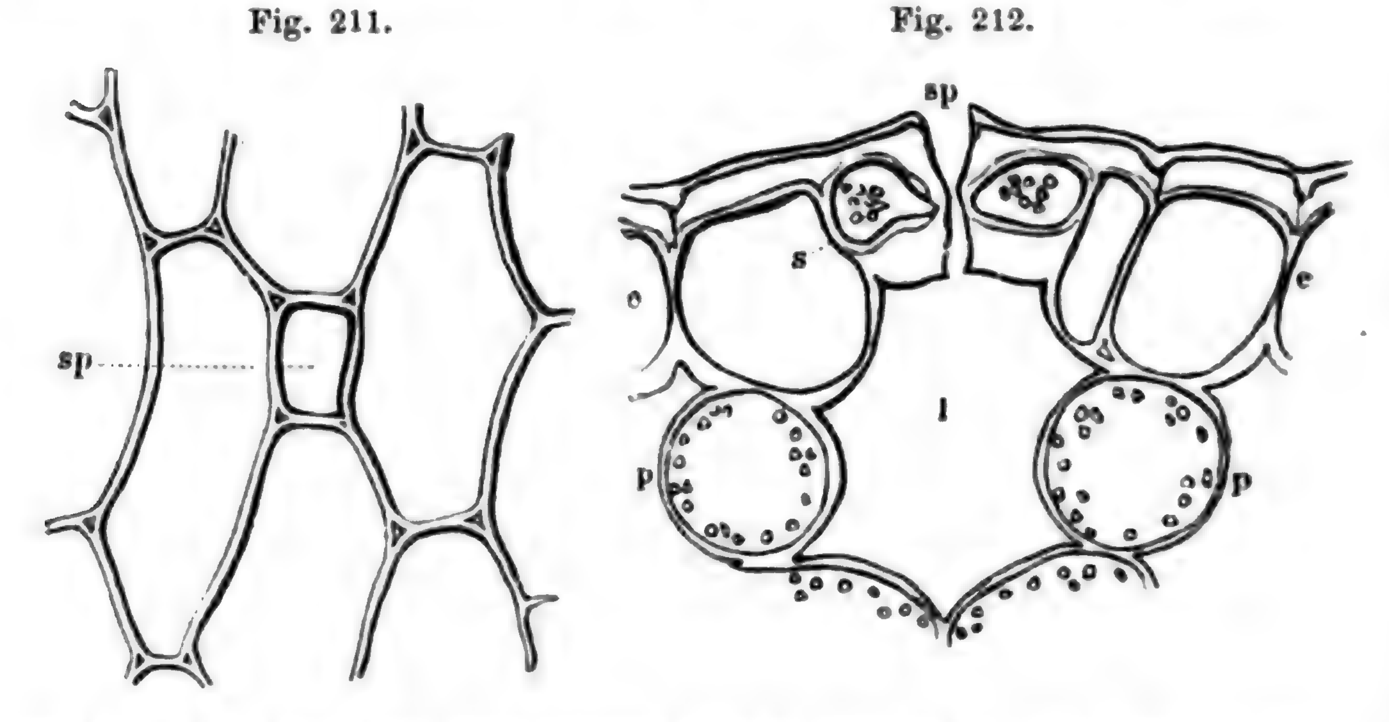


Fig. 211. Kleines Stück eines Flächenschnittes durch die Oberhaut von Anthropodium cirrhatum, bei dem die Spaltöffnungszellen und die untere Hälfte der Oberhautzellen weggeschnitten waren. *sp* Lücke, unter der die Spaltöffnung liegt. Vergr. 1 : 370. — Fig. 212. Querschnitt durch eine Spaltöffnung von Helleborus viridis. *s* Spaltöffnungszellen, *e* Epidermis, *l* Luftlücke, *p* Blattrinde. Vergr. 1 : 500.

untergetauchten Blättern (Callitriche) oder an unterirdischen Stengeln (jungen Knollen der Kartoffel, Schale der Meerzwiebel) auftreten, liegen in oder unter einer, bei verschiedenen Pflanzen eine verschiedene Form zeigenden, in der Regel aber vierseitigen (Iris, Gladiolus, Allium etc.) oder rundlichen (Pteris, Fuchsia, Fagus, Cycas etc.) Lücke der Oberhautzellen (Fig. 211, *sp*), und münden nach innen in eine mehr oder minder grosse Luftlücke (Fig. 212, *l*) des Stengel- oder Blattrindenparenchyms, die Athemhöhle.

Ausser auf den Bau im Allgemeinen hat man bei den Spaltöffnungen der Blattorgane vorzugsweise auf ihre Stellung, auf ihre Vertheilung über die Oberhaut und endlich auf ihre Lage zu den übrigen Oberhautzellen zu achten.

Digitized by Google

Bau. — Die auf der Flächenansicht meist in Form einer schmäleren (Stengel der Monokotyledonen, z. B. Tradescantia virginica, Lilium u. a.) oder breiteren Ellipse erscheinenden Spaltöffnungen werden aus zwei mit Chlorophyll oder von Chlorophyll überzogenem Stärkemehl erfüllten, meist halbmondförmigen, an den beiden Enden verwachsenen, je nach der von äusseren Einwirkungen (Wärme, Licht und Feuchtigkeit) bedingten Turgescenz und Wandspannung der Schliess- und Nachbarzellen eine schmälere oder breitere Spalte zwischen sich lassenden, mit der convexen Aussenseite lückenlos mit den benachbarten Oberhautzellen verbundenen Zellen, den Schliesszellen (Porenzellen, Spaltöffnungszellen), gebildet (Fig. 212, s). Auf dem Querschnitte zeigen die Schliesszellen eine rundliche, ovale oder auch etwas eckige Gestalt, während der Hohlraum vermöge der stärkeren Verdickung der Wand eine mehr nach dem Spalt hin in die Länge gezogene oder gar verengte Form annimmt. In oder etwas unter der Mitte der Innenwände springen diese, die eigentliche Spaltöffnung (den Spaltendurchgang de Bary's) bildend, meist leistenartig vor, ebenso treten nach oben und unten im Querschnitt zapfenartige, in der Längsansicht leistenartige, verschieden gestaltete Vorsprünge auf, und zwischen ihnen und den inneren ist die Zellwand in einem flacheren oder tieferen Bogen eingesenkt. So entstehen ausser- und innerhalb der eigentlichen Spaltöffnung zwei Räume, welche von de Bary als Vorhof und Hinterhof bezeichnet wurden. Bei symmetrischer Ausbildung dieser Räume sind Vor- und Hinterhof ganz oder nahezu gleich weit (Fig. 212 u. 215, II, S. 328), wird der äussere Vorsprung dagegen wallartig über die Oberhaut emporgezogen, dann erweitert sich der Vorhof (Fig. 215, I, S. 328), fehlen endlich die äusseren Vorsprünge fast oder völlig, wie bei den Gymnospermen und manchen Monokotyledonen, dann werden beide Räume oder doch der Vorhof verhältnissmässig klein und nehmen eine seltener gerad-, meist nach innen krummflächig-trichterförmige Gestalt an.

Fig. 213.

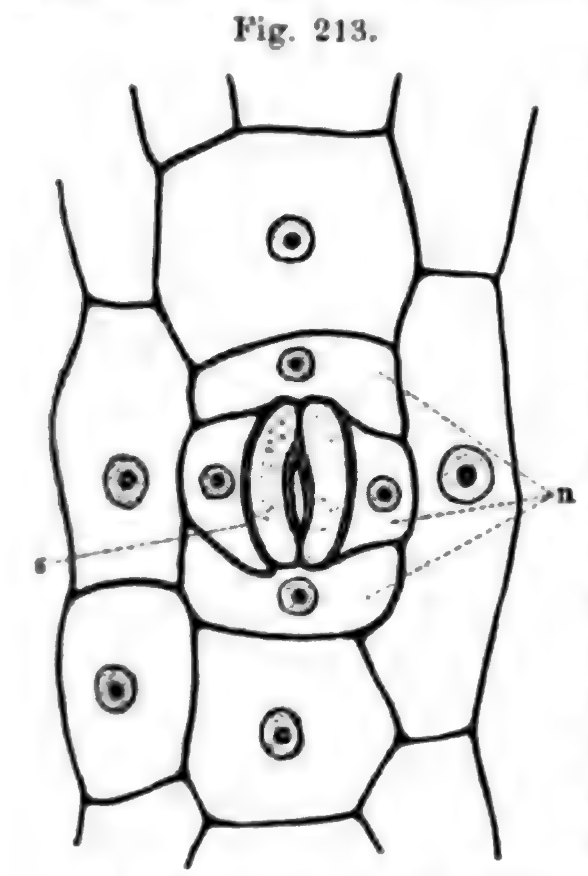


Fig. 213. Flächenschnitt aus der Oberhaut von Tradescantia virginica. s Schliesszellen, n Nebenzellen. Vergr. 1 : 240.

Die an die Schliesszellen grenzenden Zellen der Oberhaut sind entweder mit den übrigen Oberhautzellen gleich gestaltet (viele Farnkräuter, Lilium, Hyacinthus, Helleborus, Sambucus, Viburnum, Evonymus u. a.), oder es werden die Spaltöffnungen von je einer, zwei oder mehreren Oberhautzellen begrenzt, welche von den übrigen an Gestalt und Grösse verschieden, den Schliesszellen mehr oder weniger ähnlich erscheinen

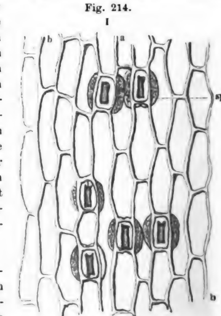
Digitized by Google

(Gymnospermen, Gramineen, Commelynaceen, Marantaceen, Proteaceen, Portulacaceen, Caryophyllaceen, Crassulaceen u. a.) (Fig. 213, a. v. S). Diese Zellen werden als Nebenzellen (Nebenporenzellen, Hülfsporenzellen) bezeichnet.

Stellung. — Diese kann sich auf Ober- und Unterseite erstrecken, wobei dann in der Regel die letztere reicher, die erstere ärmer, nur in vereinzelten Fällen, z. B. bei Pinus silvestris, reicher an Spaltöffnungen erscheint. In den meisten Fällen ist sie aber auf die Unterseite der Luftblätter oder auf die Oberseite der schwimmenden Blätter, selten der Luftblätter, wie bei Thuja, beschränkt.

Vertheilung über die Oberhaut. — In dieser Beziehung lassen sich vorzugsweise folgende Verschiedenheiten beobachten: 1. Es stehen die Spaltöffnungen, wie bei allen grünen Stengeln und Blättern mit in der Längsachse gestreckten Oberhautzellen, in Reihen (Abies, Pinus, die meisten Monokotyledonen, Fig. 214, I) und es sind dieselben mit ihren Schliesszellen und Spalten der Längsachse der letzteren gleichgerichtet; 2. sie sind in grösserer oder kleinerer Zahl, in mehr oder minder regelmässigen, durch abweichende Gestalt der umgebenden Oberhautzellen ausgezeichneten, durch spaltöffnungslose Strecken gewöhnlichen Oberhautgewebes getrennten Gruppen angeordnet (Nerium, Saxifraga sarmentosa, Begonia etc., Fig. 214, II), oder 3. unregelmässig über die Fläche zerstreut (Fig. 214, III). In den beiden letzten Fällen sind dann die Schliesszellen und Spalten regellos nach verschiedenen Seiten gerichtet, oder es erscheinen dieselben in einzelnen Fällen — namentlich an solchen Blättern und grünen Stengeln, bei denen die Oberhautzellen mehr oder weniger in die Quere gestreckt erscheinen (Stengel von Viscum album, Blatt von Staphylea pinnata) — senkrecht zur Längsachse des betreffenden Organes gestellt.

Fig. 214.



Lage der Spaltöffnungen. — Auch in dieser Beziehung treten bei Gewächsen verschiedener Familien und Gattungen mannigfache Verschiedenheiten hervor. Ueber die Oberhautzellen hervorragend, trifft man die Spaltöffnungen bei den Blättern von einzelnen Arten aus der

Digitized by Google

Familie der Farnkräuter, der Proteaceen, der tropischen Orchideen, von Crinum capense u. s. w. (Fig. 215, I, a. f. S.). Mit den Epidermiszellen in oder in nahezu gleicher Ebene stehend, erscheinen sie bei den meisten

Fig. 214.

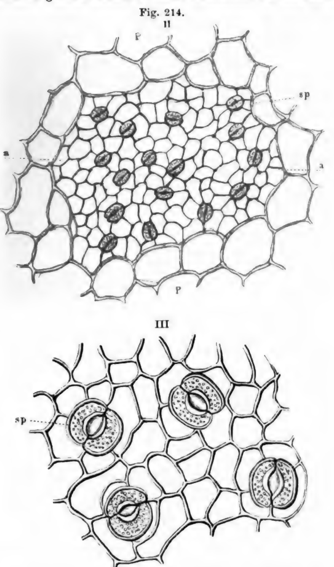
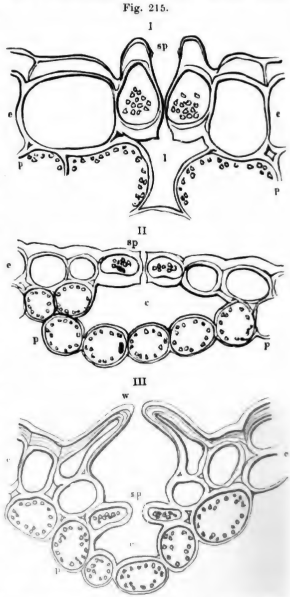


Fig. 214. Anordnung der Spaltöffnungen. I Flächenschnitt durch die Oberhaut der Unterseite des Blattes von Phormium tenax. *aa* die Spaltöffnungen führenden, *bb* die spaltöffnungsfreien Zellenreihen. II Flächenschnitt durch die Oberhaut der Unterseite des Blattes von Saxifraga sarmentosa. *aa* Gruppe des zartwandigen, kleinzelligen Gewebes, in welchem die Spaltöffnungsgruppen liegen. *PP* spaltöffnungsloses, grosszelliges Oberhautgewebe. III ähnliches Präparat von Evonymus japonicus, von der unteren Seite gesehen. *sp* die Spaltöffnungen. Vergr. I und III 1 : 370, II 1 : 180.

Digitized by Google

Farnkräutern, bei Lilium, Hyacinthus, Pothos, Tradescantia, Helleborus und anderen Solaneen, Sambucus, Basella, Portulacaceen, Silene, Sedum, Fuchsia, und bei den meisten Pflanzen mit zarter Oberhaut (Fig. 215, II. und Fig. 212, S. 324). Den Oberhautzellen mit schief gestellten Wandungen anliegend, daher mehr oder minder unter die Ebene der Epidermis hinabgedrückt, treten die Spaltöffnungen bei Viscum, Iris, Allium, Gladiolus, Aloë, Gasteria, Asparagus etc. (Fig. XXIII u. XXIV) auf, während sie bei Cycas, Ficus elastica, australis und anderen, Hakea etc. noch tiefer, gleichsam unter der Oberhaut versteckt liegen (Fig. 215, III). In letzteren Fällen erheben sich häufig die die Oberhautlücke bildenden, stark verdickten Epidermiszellen mehr oder weniger, so dass diese wie von einem Walle umgeben wird. Zu mehreren, in eigenthümliche, mit Haaren oder stachelartigen Fortsätzen der Oberhautzellen ausgekleidete Gruben versenkt, begegnet man den Spaltöffnungen bei Nerium, Banksia, Dasylirion (Fig. 215, IV und V a. f. S.), in Längsrinnen bei dem Espartogras.

Fig. 215.



Die Schliesszellen der Spaltöffnungen verholzen nicht, dagegen setzt sich die Cuticula, bisweilen auch schmale Cuticularschichten, über deren freie Seiten fort,

Digitized by Google

wovon man sich durch die Behandlung des Querschnittes mittelst der entsprechenden Reagentien leicht überzeugt. Die ersteren färben sich nämlich schon nach der Anwendung von Chlorzinkjod oder Jod und Schwefelsäure durch alle Schichten violett oder blau, während die Cuticula oder diese sammt den betreffenden Cuticularschichten eine höchst zarte, gelbe oder braune Schicht bildet, welche die freie Aussenseite der beiden Zellen überzieht.

Fig. 215.

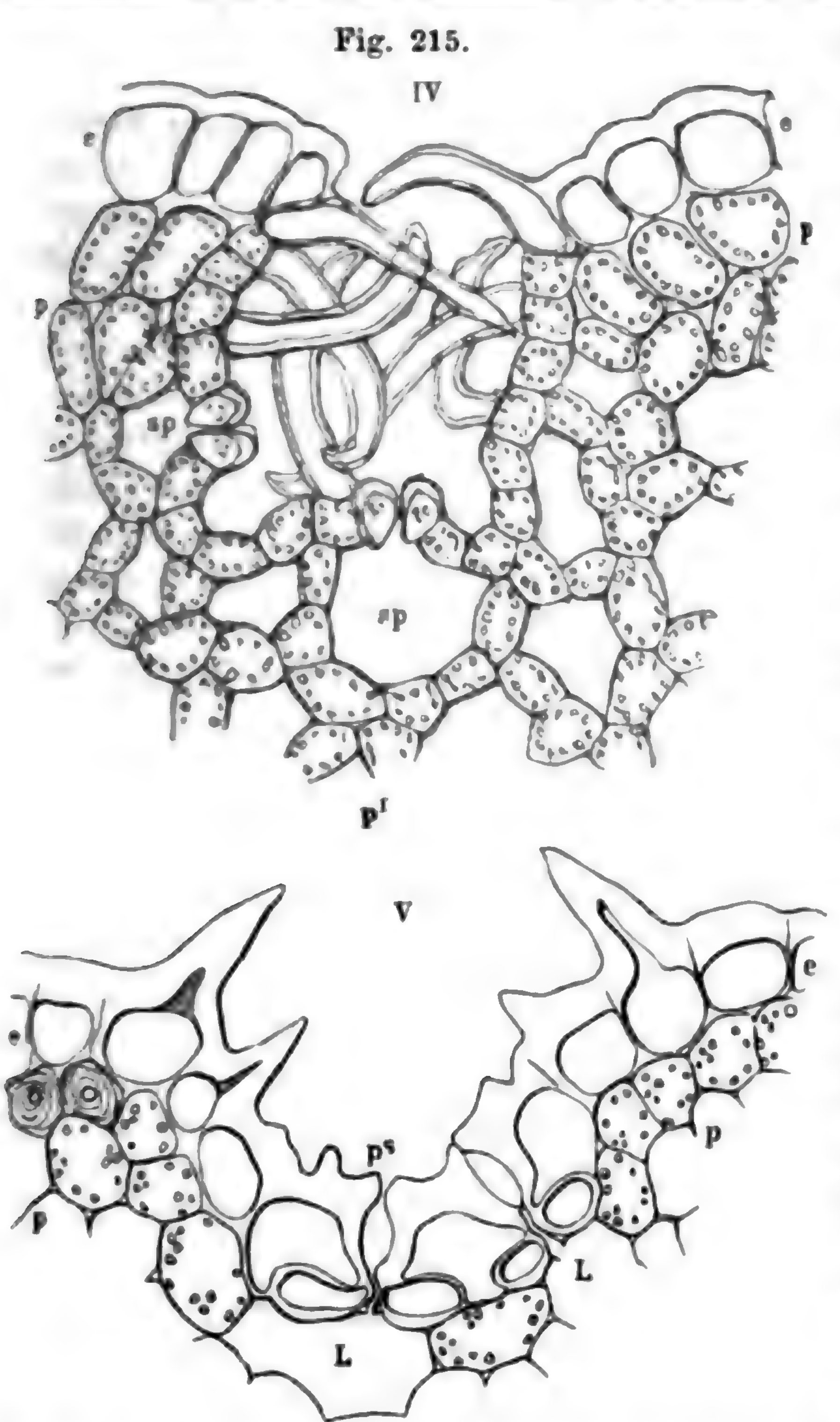


Fig. 215. Lage der Spaltöffnungen. I Querschnitt durch die Oberhaut der Unterseite des Blattes von Pleurothallus sp. *sp* Spaltöffnung, *e* Epidermiszellen, *p* Blattparenchym, Luftlücke. II Querschnitt, wie oben, von Polypodium vulgare. III ähnliches Präparat von Cycas revoluta. *w* wallartige Erhebung der Oberhaut. IV Querschnitt durch die Unterseite der Oberhaut von Nerium Oleander mit in der von Haaren ausgekleideten Grube liegenden Spaltöffnungen. *p'* schwammförmiges Parenchym unterhalb der letzteren. V gleiches Präparat aus dem Blatte von Dasylirion spec. Die Bezeichnung aller Figuren wie bei I. Vergr. 1 : 400.

Zur Untersuchung der Spaltöffnungen und der dabei in Betracht kommenden Verhältnisse bedarf es zarter Quer-, Längs- und Flächenschnitte. Die letzteren, welche man leicht durch das Abziehen der Epidermis oder durch einen zarten Flächenschnitt gewinnt, lässt man zur allgemeinen Orientirung und zur Bestimmung der Richtung, in welcher der Querschnitt zu führen ist, vorausgehen. Der letztere wird in der erforderlichen Zartheit erlangt, wenn man das ganze Blatt oder, bei dickeren Blättern, die abgezogene Oberhaut zwischen Hollundermark oder Kork einklemmt.

d) Wasserspalten.

Bei einer grossen Anzahl von Pflanzen kommen neben den Spaltöffnungen, im engeren Sinne (Luftspalten), denselben in der Gestaltung ähnliche, zur Zeit ihrer

Digitized by Google

Thätigkeit der Wasserausscheidung dienende Oberhautgebilde, welche als Wasserspalten oder Wasserporen bezeichnet werden, vor. Dieselben stehen in der Regel an der Oberseite, und zwar über den Endigungen der Blattnerven, am oder nahe am Rande, den Blattzähnen und der Blattspitze und unterscheiden sich von den luftführenden Spaltöffnungen durch ihre erheblichere Grösse, die Unfähigkeit, die Spalte zu erweitern und zu verengern, sowie durch ihr meist frühzeitiges Absterben. Ihrem Bau nach kann man zwei Formen unterscheiden. Die einen besitzen fast halbkreisförmige Porenzellen und eine kleine, kurze (Crassula, Mitella, Saxifraga, Ficus), die anderen eine grosse, lange, weit offene Spalte (Aroideen, Tropaeolum, Papaver, Helleborus, Fuchsia, Prunus Padus, Sambucus, Ulmus, Platanus u. a.). Von den Wasserporen treten an den betreffenden Stellen vorzugsweise die grossen theils einzeln auf (Fuchsia, Heuchera, Primula auricula und sinensis, Aconitum- und Delphiniumarten), theils sind sie zu Gruppen von zwei bis drei (Ulmus campestris, Crataegus coccinea, Prunus Padus, Helleborus niger) oder zu mehreren (Helenium autumnale, Hieracium sabandum, Aralia racemosa, Platanus occidentalis, Corylus) vereinigt, während die kleineren der Crassula-, Saxifraga- und mancher Ficusarten in kleineren Grübchen beisammen stehen.

e) Nebenorgane der Oberhaut.

Mit der Untersuchung des Oberhautgewebes ist zunächst noch die Untersuchung ihrer sogenannten Neben- oder Anhangsorgane zu verbinden. Diese nehmen ihren Ursprung sämmtlich unmittelbar in der Oberhaut, und bilden entweder nur nach auswärts gewendete Verlängerungen einzelner Oberhautzellen, wie die Papillen und die einzelligen Haare, oder sie gehen aus letzteren durch Neubildung der sie constituirenden Zellen, d. h. durch wiederholte Zelltheilungen hervor, wie die mehrzelligen Haare, die Drüsenhaare, Schuppen und Stacheln.

Fig. 216.

Fig. 216. Papille aus der jugendlichen Narbe von Lilium bulbiferum. Vergr. 1:660.

Nur bei einzelnen Begonien (z. B. Begonia Saudersonii der Gärtner) habe ich scheinbar der Oberhaut angehörige, mit einem dunkelbraunrothen Safte erfüllte, geknöpfte Haare gefunden, welche ihren Ursprung in dem Blattgrün führenden Markgewebe des Blattes nehmen und von hier aus durch die mit farblosem, wässerigem Inhalte erfüllten Zellschichten hindurchwachsen.

Im jugendlichen Alter zeigen die Zellen dieser Organe, namentlich aber der Papillen, Haare und Brennhaare, eine lebhafte Binnenströmung des Protoplasmas, welche jedoch erlischt, sobald der betreffende Theil der Oberhaut seine Lebensfähigkeit verloren hat.

Digitized by Google

Die Papillen sind einfache, der Oberhaut angehörige Zellen, welche sich nur wenig über letztere erheben (Fig. 216). Man findet dieselben vorzugsweise auf den sammtartigen Glanz zeigenden Blumenblättern, dann auf den Epithelien der Narbe und des Staubwegcanales.

Die Haare (Fig. 217) erheben sich weit bedeutender über die Fläche der Oberhaut. Sie werden theils als einfache Haare (Fig. 217, I u. II) von einer einzigen Zelle der Oberhaut gebildet, die entweder unverästelt bleibt und dabei verschiedene Formen annehmen kann oder sich verschiedentlich verzweigt, so dass die verästelten und sternförmigen Haare (Fig. 217, II u. III) entstehen, theils bestehen sie aus ein- oder mehrfachen Zellenreihen und bilden die zusammengesetzten Haare, welche entweder einfache Zellenreihen (Fig. 217, IV) oder sternförmig, oder anderartig geordnete Zellengruppen, Zellencylinder u. s. w. (Fig. 217, V u. VI) vorstellen.

Erstere sowohl wie letztere können an ihrer Spitze eine kugelige, meist mit einem eigenthümlichen, meist gefärbten Inhalte erfüllte Zelle oder einen ähnlich gestellten Zellencomplex tragen, wodurch sie zu den geknöpften Haaren oder sogenannten Drüsenhaaren werden (Fig. 217, V). (Viele Labiaten, Solaneen, Chenopodiaceen etc.)

Fig. 217.

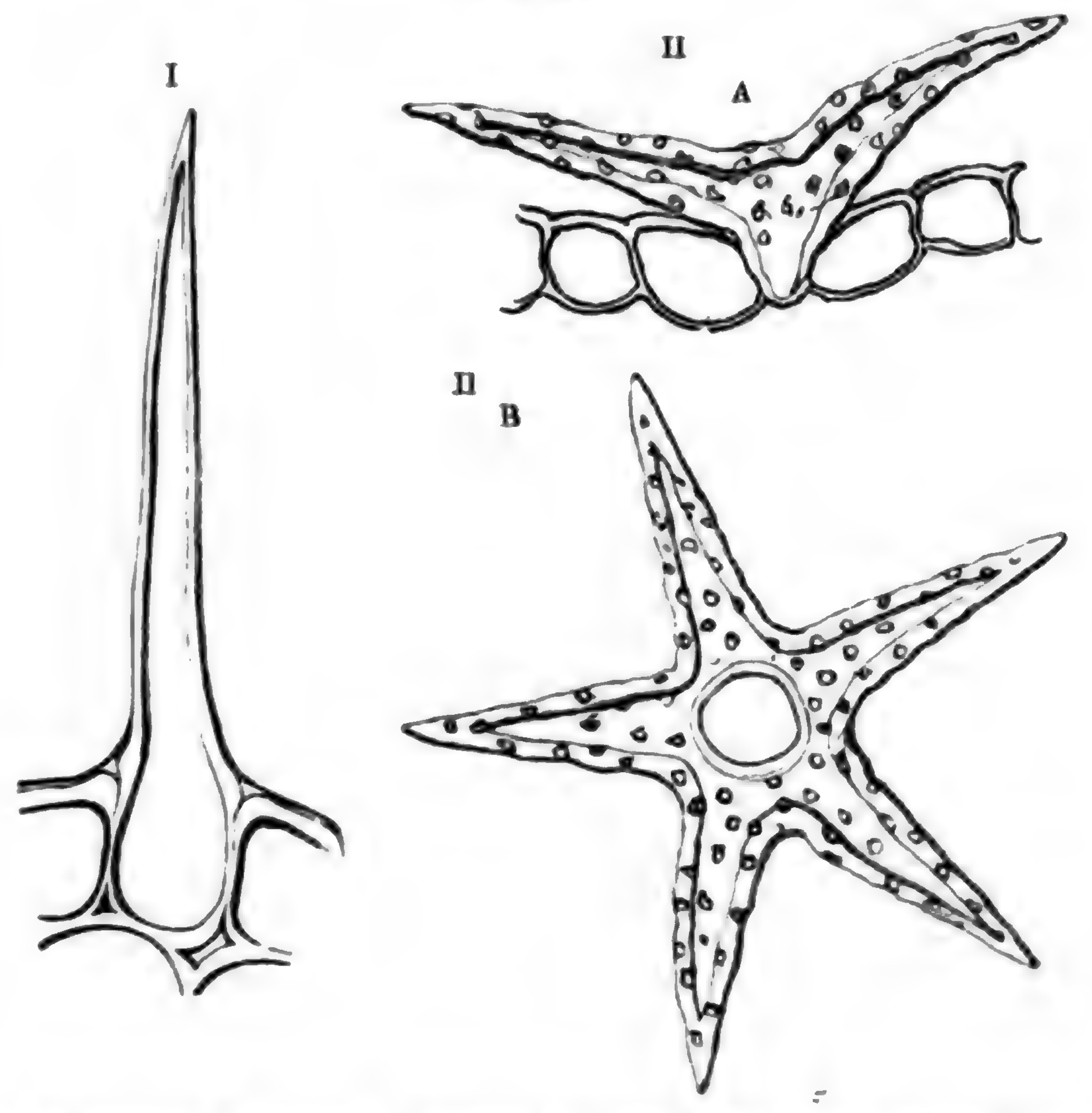


Fig. 217. Verschiedene Haarformen. I einfaches Haar des Blattes von Pelargonium. II Sternhaar der Deutzia scabra; A im Querschnitt, B von oben gesehen. Vergr. 1 : 250.

Digitized by Google

Fig. 217.

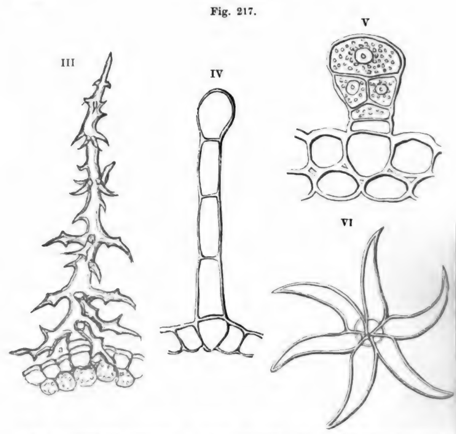


Fig. 217. Verschiedene Haarformen. III vielfach verzweigtes Haar der Alternanthera brasiliensis, von zartwandigen Stielzellen getragen. IV zusammengesetztes geknöpftes Haar des Stengels von Geranium pratense. V zusammengesetztes Haar (Drüsenhaar) des Blattstieles von Lamium purpureum. VI zusammengesetztes sternförmiges Haar des Blattes von Malva moschata. Vergrösserung III, IV und VI 1 : 250; V 1 : 370.

Die Borsten unterscheiden sich von den einfachen Haaren nur dadurch, dass ihre Zellwand stärker, oft eigenthümlich warzig verdickt und verholzt, hier und da auch geschichtet erscheint (Borago, Echium, Onosma etc.), während in der Regel die Oberhaut sich an deren Grunde etwas erhebt und denselben wallartig umgiebt (Fig. 218).

Aehnliche Verhältnisse zeigen sich bei den Brennhaaren der Urticeen, Loaseen etc. Hier ist die meist säulenförmige Erhebung immer bedeutender, als dort, und umschliesst den kugeligen, zartwandigen Grund des Haares, dessen hervorragender Theil stärker verdickt und dessen Spitze mit einem eine Stachelspitze tragenden Knöpfchen versehen ist (Fig. 219).

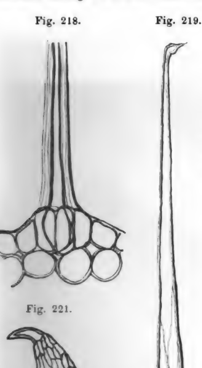
Die Schuppen (Fig. 220) bilden in horizontaler Fläche ausgebreitete, von einer bis mehreren Stielzellen getragene Anhängsel der

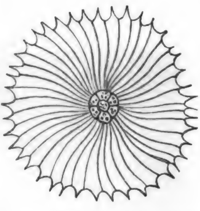
Digitized by Google

Oberhaut, die in der Regel (Bromeliaceen, Eleagneen) mehrzellig, hier und da aber auch einzellig sind.

Die Stacheln endlich bestehen aus einem Complexe etwas gestreckter, häufig verholzter Oberhautzellen, welcher an seiner Spitze in

Fig. 218. Fig. 219. Fig. 220.





eine einzige, stärker verdickte, meist gekrümmte, scharf zugespitzte Zelle ausgeht (Fig. 221).

Fig. 221.

Fig. 218. Unterer Theil einer Borste des Blattes von Onosma echioides. Vergr. 1 : 250.

Fig. 219. Brennhaar von Urtica dioica. Vergr. 1 : 75.

Fig. 220. Schuppe des Blattes von Elaeagnus. Vergr. 1 : 125.

Fig. 221. Stachel des Stengels von Humulus lupulus. Vergrösserung 1 : 75.

Optisches Verhalten der Zellen der Oberhaut.

Alle jene Zellwände der Oberhaut, welche keine Cuticularschichten gebildet haben, stimmen in ihrem optischen Verhalten mit denen des isodiametrischen Parenchyms des Pflanzeninnern überein. Dasselbe ist bei den mit Cuticularschichten versehenen Oberhautzellen mit den inneren, nicht cuticularisirten, d. h. nicht verkorkten, sondern unverändert gebliebenen oder verholzten Zellwandschichten der Fall. Die Cuticularschichten dagegen zeigen ein **abweichendes Verhalten**, welches indessen nach längerer Maceration in kalter, oder nach kurzer Behandlung mit kochender Kalilauge in das der nicht cuticularisirten Zellwand über-

Digitized by Google

geht. Jeder nach irgend einer der drei Dimensionen des Raumes geführte Durchschnitt erhöht in den verkorkten Wänden oder Wandtheilen, wenn sie mit dem Radius — 45° des Gesichtsfeldes parallel gerichtet, also unter + 45° orientirt sind, die Farbe des Gypsgrundes auf Indigo bis Hellblau, während er dieselbe in den mit dem Durchmesser von + 45° parallelen, d. h. unter — 45° orientirten Wänden auf Orange bis Gelb erniedrigt. Die Zellenfläche der Seitenwände zeigt bei solchen Objecten,

Fig. 222.

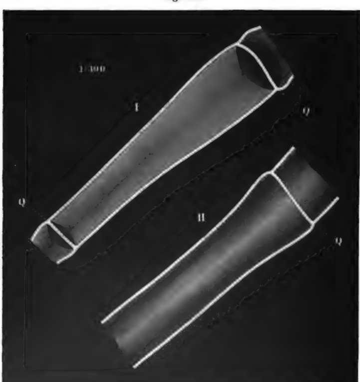


Fig. 222. Zwei Haarzellen; I von Origanum vulgare, II von Stachys palustris. *Q Q* Querwände. Vergr. 1 : 300.

wo die Cuticularschichten die unveränderten Zellwandschichten bedeutend an Dicke und optischer Wirkung überwiegen, in Längs- und Querschnitt mit dem auf der Blatt- oder Stengeloberfläche senkrechten Durchmesser unter + 45° orientirt Additions-, in der entgegengesetzten Stellung Subtractionsfarben, jene der Aussenwand zarter Flächenschnitte erscheint unter Dunkelblau, wenn der eine ihrer Durchmesser unter + 45°, unter Orange, wenn er unter — 45° orientirt ist. Aus diesem Verhalten lässt

Digitized by Google

sich nun schliessen, dass bei jedenfalls zweiachsiger Beschaffenheit des Objectes die grösste Elasticitätsachse radial gestellt sein muss, während die anderen, in der Tangentialebene liegend, eine gegen den jeweiligen Durchmesser geneigte Lage haben, ohne dass aber eine genauere Bestimmung der letzteren zu treffen möglich wäre.

Für die der Oberhaut angehörigen Haarzellen, deren kleinste Elasticitätsachse immer radial gestellt ist, machen sich in der Längsansicht zwei verschiedene Fälle des optischen Verhaltens geltend, welche mit den beiden bei den gestreckten Parenchymzellen beobachteten zusammenfallen.

Unter den ersten Fall, bei welchem das Verhalten in dem dunklen Gesichtsfelde (Fig. 222, II) und die Farbengebung in den beiden Orientirungen unter + 45° und — 45°, also auch Lage und Form der Ellipsoiddurchschnitte in Querschnitt, Rand und Mitte der Zellen dieselbe ist, wie bei den Markparenchymzellen von Clematis u. s. w. (s. Fig. 158, S. 246), gehören unter anderen die zartwandigen Haarzellen des Stengels von Erodium, Geranium, Lamium album, Borago, Stachys palustris und sylvatica entweder durchgängig, oder auch nur theilweise, indem die einen Zellen desselben Haares diesem, die anderen dem nächsten Falle sich anreihen. Es macht sich aber hier unter den betreffenden Objecten sowohl als unter verschiedenen Zellen (unteren und oberen) derselben insofern wieder ein Unterschied geltend, als — falls derselbe nicht auf Cuticularisirung der Wand beruht — bei einer über 45° hinausgehenden Neigung der grössten Elasticitätsachse zur Zellenachse erstere einmal in einer rechts ansteigenden (Erodium), das andere Mal in einer links ansteigenden (Stachys) Spirale verläuft, indem dort bei der Orientirung unter + 45° Addition, unter — 45° Subtraction, unter 0° die Alternativ-, unter 90° die Consecutivstellung (s. Fig. 159, III), hier unter + 45° Subtraction, unter — 45° Addition, unter 0° die Consecutiv-, unter 90° die Alternativstellung auftritt (s. Fig. 159, I u. II).

Dem zweiten Falle gehören die stärker verdickten und manche mässig verdickte Haarzellen an, u. A. diejenigen von Origanum vulgare, Borago, Lycopsis, Symphytum, Echium, Onosma, die Brennhaare von Urtica u. s. w. Diese zeigen, mit ihrer Längsachse in den Durchmessern + 45° und — 45° des Sehfeldes orientirt, in dem dunklen Sehfelde die ganze Fläche leuchtend (Fig. 222, I) auf dem Gypsgrunde ähnliche Farbengebung, wie die verholzten Parenchymzellen von Aloë, Cyathea u. s. w., wobei an den stärker verdickten Haaren bei beiden Beobachtungsweisen die prachtvollsten Töne hervortreten. In den Orientirungen unter 0° und 90° treten dagegen wieder ähnliche Verschiedenheiten hervor, wie in der vorigen Gruppe. Bei den Haarzellen von Echium, Onosma erweist sich die Stellung unter 0° als Alternativ-, jene unter 90° als Consecutivstellung (s. Fig. 161, S. 249), bei älteren Haaren, Urtica, ist das Umgekehrte der Fall (Fig. 224, S. 337). Wir haben also bei radialer Stellung der kleinsten Elasticitätsachse ein Ansteigen der grössten

unter weniger als 45° zur Zellenachse geneigten Elasticitätsachse (Fig. 223) dort in einer rechtswendigen, hier in einer linkswendigen Spirale, womit auch die zu beobachtende Structur der secundären Verdickungsschichten

Fig. 223.

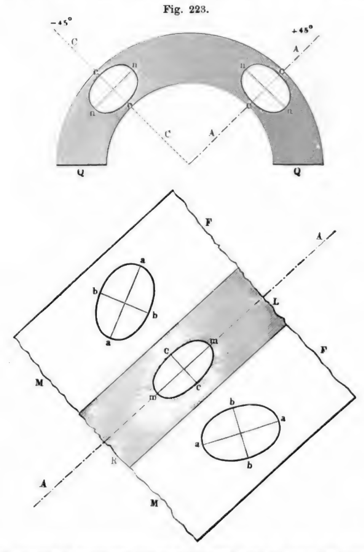


Fig. 223. Stellung der Ellipsoiddurchschnitte in Querschnitt, Rand und Mitte der Haarzellen mit unter 45° zur Zellenachse geneigter grösserer Elasticitätsachse, die am unteren Theile der Längeansicht einer rechts ansteigenden, im oberen einer links ansteigenden Spirale folgt.

von Urtica z. B. vollkommen übereinstimmt, indem diese in steil nach links ansteigenden Spiralbändern mit schmalen Unterbrechungsstreifen verlaufen.

Digitized by Google

Fig. 224.

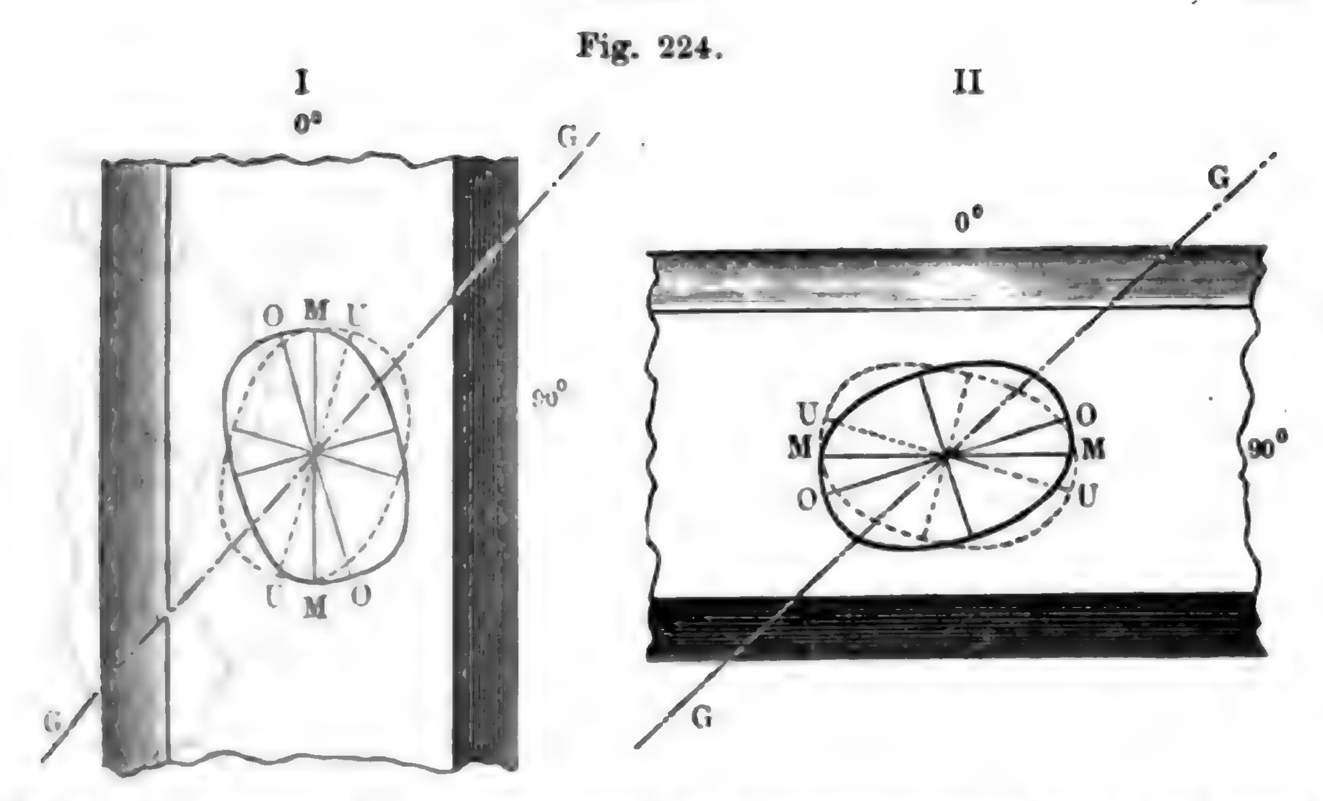


Fig. 224. I Consecutiv-, II Alternativstellung der Ellipsoiddurchschnitte unterer und oberer Wandmitte für die Haarzellen mit einer linkswendigen Spirale folgender, die Zellenachse unter kleinem Winkel schneidender grösster Elasticitätsachse.

2. Kork.

a) Aussenkork.

Der Aussenkork (Oberflächenperiderm, De Bary) tritt an den Stämmen der holzartigen Gewächse, von denen die Monokotyledonen, mit Ausnahme weniger Gattungen (Pandanus, manche Dracaenen, Anthurium, Philodendron), und nur wenige bedecktsamige Dikotyledonen keinen (Viscum), oder erst nach einer längeren Reihe von Jahren (Sophora, Acer pennsylvanicum und Nagundo, Aristolochia, Sipho, Evonymus) Kork bilden, schon in der ersten Vegetationsperiode der Stengelglieder, und zwar bald nach, mit oder in selteneren Fällen vor Vollendung des Längenwachsthums derselben durch ein in oder dicht unter der Oberhaut, und dann in der ersten bis dritten Collenchymzellenreihe entstehendes nachgebildetes Bildungsgewebe: Korkbildungsgewebe (Phellogen) erzeugt, an die Stelle der letzteren, welche dann in der Regel abgestossen wird.

Gestalt und chemisches Verhalten der Korkzellen. — Das Korkgewebe besteht in der Regel aus auf dem Querschnitt meist vierseitigen, doch bisweilen auch polygonalen, entweder allseitig gleichförmig ausgedehnten (zum Theil in Fig. 227, S. 339), oder in radialer Richtung zusammengedrückten (Fig. 225, A, a. f. S.) oder gestreckten (Fig. 227, I), auf dem Tangentialschnitt, beziehentlich Flächenschnitt vier- bis mehrseitigen (Fig. 225, B), ohne Intercellularräume an einander schliessenden Zellen.

Die Zellwand ist entweder nur schwach oder mässig, seltener stärker — und dann entweder allseitig (Fagus, Tilia, Betula) oder einseitig, und zwar in manchen Fällen an der nach aussen (Salix, Populus, Xanthoxylum),

Digitized by Google

in anderen nach innen (Viburnum, Opulus, Mespilus germanica) gewendeten Seite — verdickt, wobei sie im ersteren Falle eben- oder nach

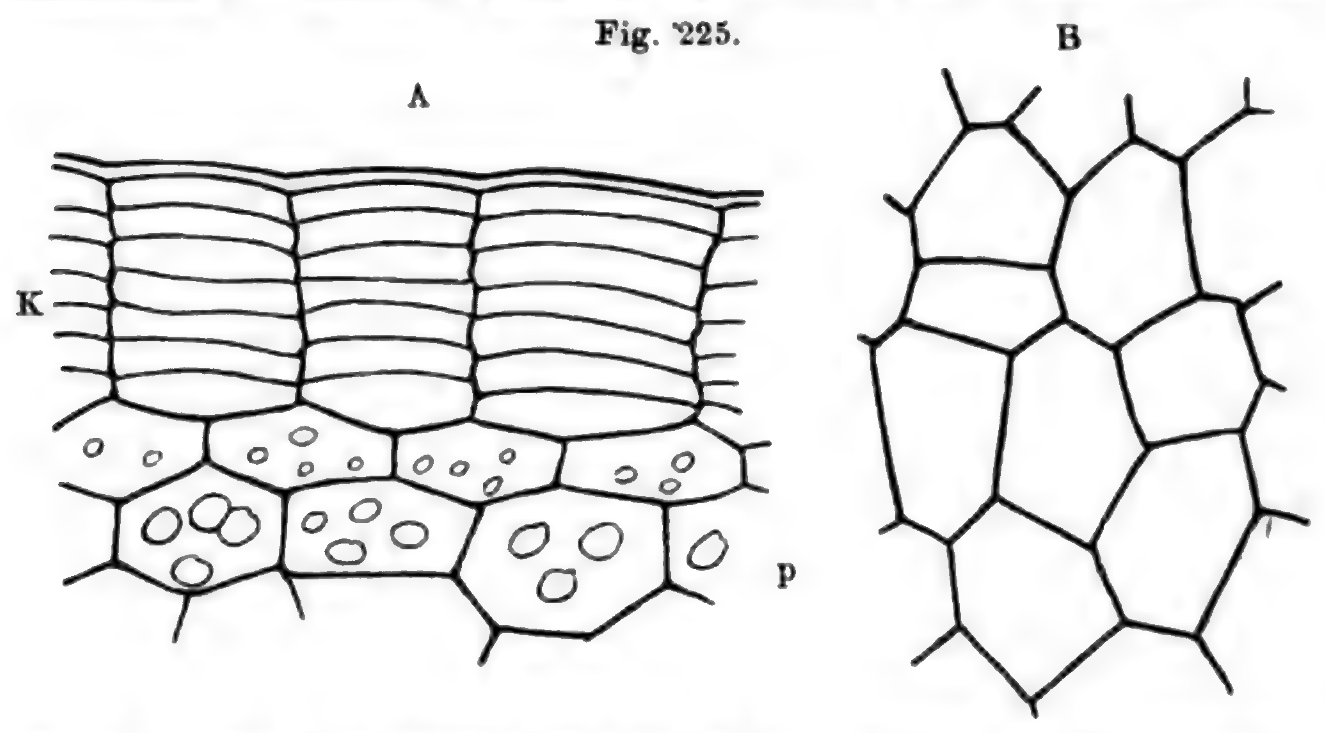


Fig. 225. *A* Quer-, *B* Flächenschnitt durch den Kork der Kartoffelschale. *K* Kork, *p* Parenchym mit Stärkekörnern. Vergr. 1 : 340.

radialer Richtung wellenflächig erscheinen kann. Dieselbe verkorkt schon sehr frühzeitig und so vollständig, dass der Zellstoff auch nach vorgängiger Behandlung mit den bekannten chemischen Mitteln nicht mehr oder doch nur unvollständig nachgewiesen werden kann, während sie durch längeres Kochen in dem Schultz'schen Macerationsgemisch in eine wachsartige Masse umgewandelt wird. Der Inhalt der Korkzellen, welcher im jugendlichen Zustande aus Protoplasma besteht, verschwindet ebenfalls schon bald und es führen dieselben Luft. Nur die stärker verdickten Korkzellenschichten der Laub- und Nadelhölzer enthalten einen dunkelgelb bis rothbraun gefärbten harzartigen oder gerbstoffähnlichen, meist auch die Wand durchtränkenden und färbenden Stoff, hier und da (nach Schacht) auch nadelförmige oder zu Drusen vereinigte Krystalle von Kalkoxalat, selten von Cerin (Quercus suber).

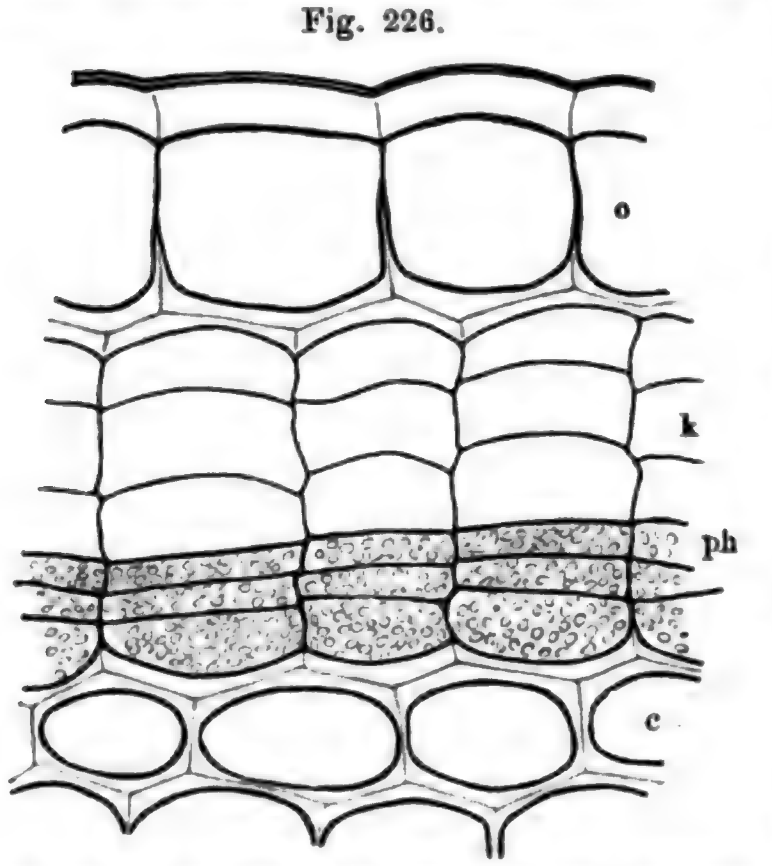


Fig. 226. Querschnitt durch den Kork von Sambucus nigra. *o* Oberhaut, *k* Korkzellen, *ph* Korkrindenzellen, *c* Collenchym. Vergr. 1 : 340.

Digitized by Google

Ausser den Korkzellen werden da, wo der Kork in der Aussenrinde entsteht, durch das Korkbildungsgewebe nach der Innenseite des betreffenden Pflanzentheiles häufig noch eine oder mehrere Reihen chlorophyllhaltiger Zellen, die Korkrindenzellen (Phelloderm, Sanio), gebildet, welche sich von den Zellen der Aussenrinde nur durch ihre Entstehung, meist radiale Anordnung und Form unterscheiden (Fig. 226).

Formen des Aussenkorkes. — Die Verhältnisse der durchgängig gleichartigen, zartwandigen oder dickwandigen Beschaffenheit der Zellwände, sowie des Wechsels zwischen zartwandigen und dickwandigen Zellenschichten des Korkgewebes einerseits, der Ort des Bildungsherdes für den Kork andererseits bedingen jenes mannigfache Verhalten des

Fig. 227.

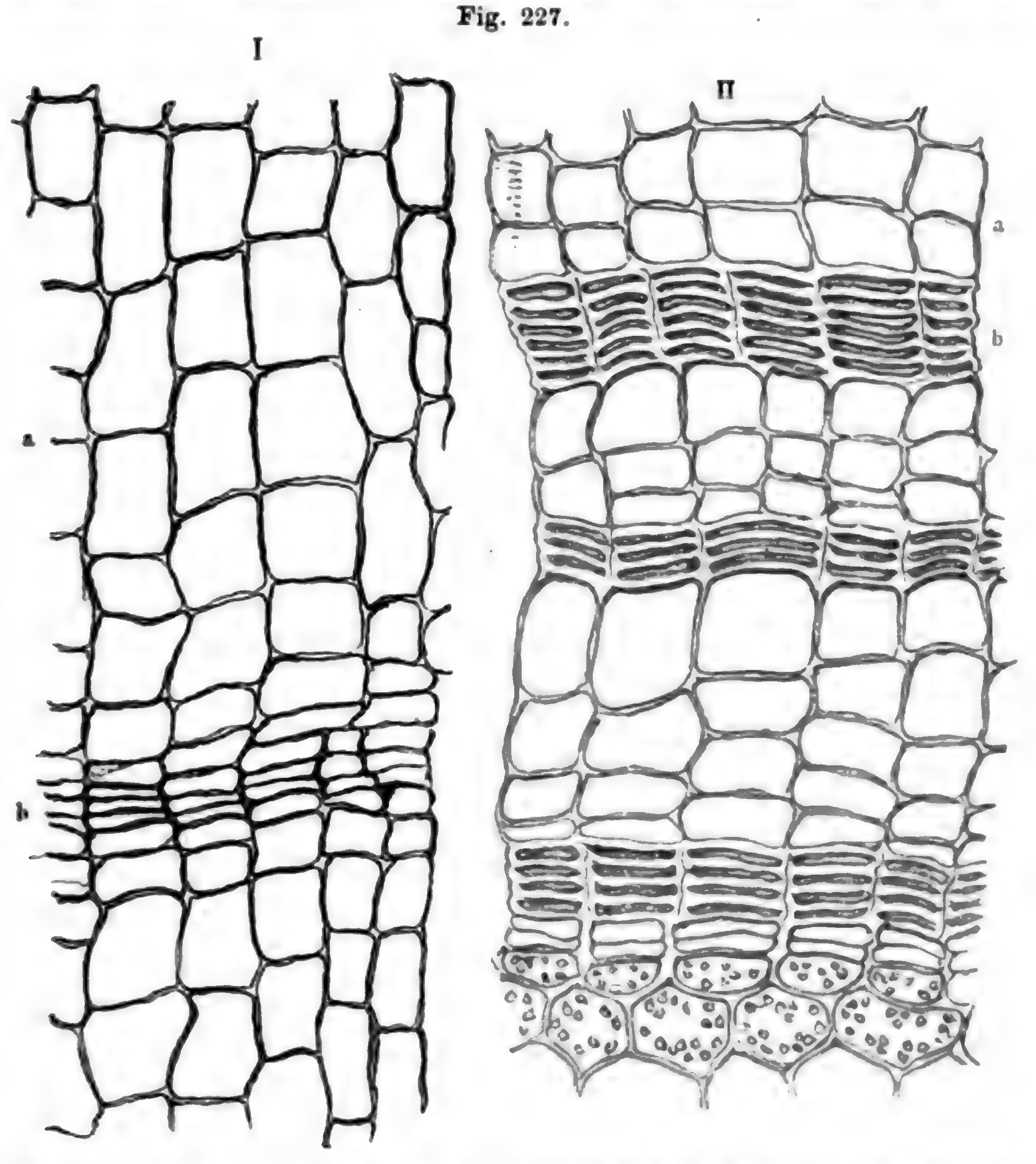


Fig. 227. Verschiedene Arten des Korkes. I Querschnitt durch das Korkgewebe des Feldahornes (Acer campestre). II Querschnitt durch den aus abwechselnd langen zart- und derbwandigen Zellen gebildeten Lederkork der Birke (Betula alba). Vergr. I 1 : 250, II 1 : 660.

Digitized by Google

letzteren, in welchem die Art der äusseren Bekleidung unserer perennirenden und Holzgewächse ihren Grund hat.

Wo der Kork in den äussersten Rindenschichten oder in der Epidermis entsteht und zum grössten Theile aus mächtigen Lagen dünnwandiger, nahezu cubischer oder in radialer Richtung gestreckter Zellen besteht, die nur durch schwache Streifen tafelförmiger, mässig verdickter Zellen unterbrochen werden (Fig. 227, I, a. v. S.), da wuchert derselbe, den man auch als **gewöhnlichen Kork** (**Krustenkork**) bezeichnet, jedes Jahr neue Lagen entwickelnd und in seinen äusseren Bezirken unregelmässig in der Achsenrichtung des Stammes zerreissend, flügelartige Vorsprünge und tiefe Furchen bildend, in üppigster Weise über den verbleibenden äusseren und inneren Rindenschichten, wie dies z. B. bei dem Feldahorn (Acer campestre), der Korkrüster (Ulmus suberosa), dem Amberbaum (Liquidambar styraciflua), der Korkeiche (Quercus suber) der Fall ist (Fig. 227, I). In einzelnen Fällen finden sich in dieser Form des Korkes Nester von später verdickten Steinzellen eingebettet, wie z. B. bei Phellodendron amurense.

Fig. 227.

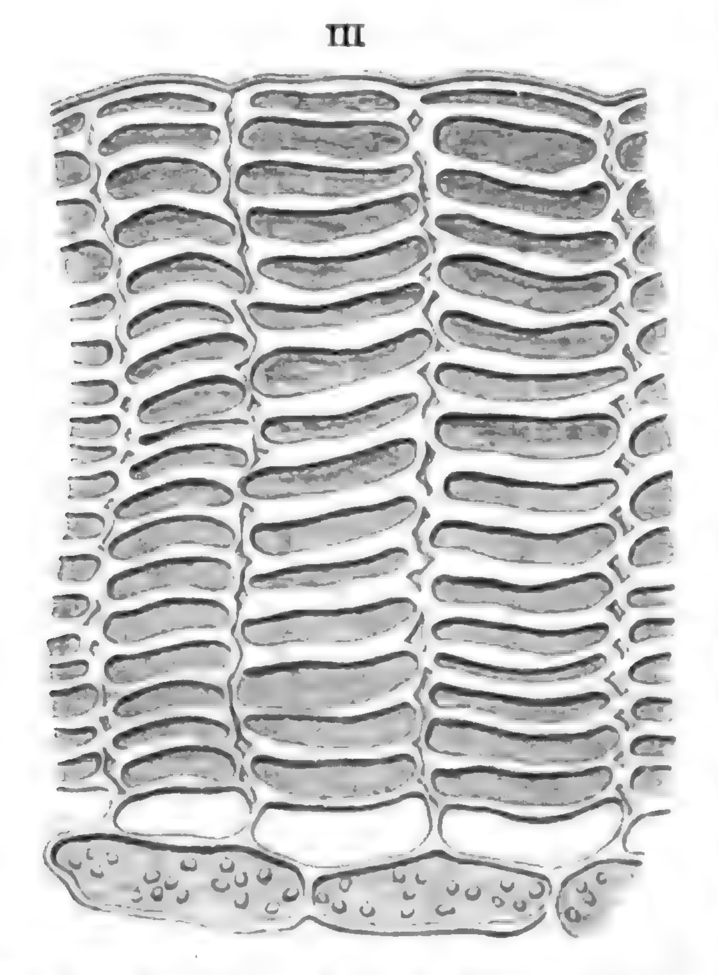


Fig. 227. Verschiedene Arten des Korkes. III Querschnitt durch den nur aus derbwandigen Zellen bestehenden Lederkork der Linde (Tilia grandifolia). Vergr. 1 : 660.

Gestaltet sich das Korkgewebe derart, dass Schichten radial zusammengedrückter, tafelförmiger, stärker verdickter, in der Regel deutliche Wandschichtung zeigender, einfache Poren besitzender mit solchen aus radial gestreckten, dünnwandigen Zellen wechseln (Betula u. a., Fig. 227, II, a. v. S.), oder besteht endlich das ganze Korkgewebe nur aus tafelförmigen, verdickten Zellen (Fagus, Tilia, Fig. 227, III), dann geht daraus die von einigen Autoren **Lederkork** (**Hautkork**, **Periderma**) genannte Modification des Korkgewebes hervor. Die Baumrinde bleibt dann während längerer Zeit oder während des ganzen Lebens glatt, und im ersten Falle trennt sich dieses in mehr oder minder starke, abblätternde Lagen (Betula), im anderen bleibt dieselbe erhalten und blättert nicht ab (Fagus, Tilia, Carpinus, Sorbus, Laburnum, Abies pectinata u. s. w.).

Ueber das chemische Verhalten der verkorkten Zellwände, wie über

Digitized by Google

dasjenige gegen polarisirtes Licht ist schon S. 203 u. f. das Erforderliche besprochen, und soll hier nur hervorgehoben werden, dass namentlich bei den verdickten, die Cambialwand immer, die Innenwand (tertiäre Wand) oft nicht verkorkt erscheint.

b) Binnenkork, Borke.

Die Borkenbildung beruht, wie schon v. Mohl nachgewiesen hat, auf einer Entwickelung von primärem und secundärem Korkgewebe innerhalb der Innenrinde des Basttheiles der Gefässbündel, durch welche alle ausserhalb gelegenen Gewebetheile von der Ernährung abgeschlossen werden und absterben. Der primäre Binnenkork, welchen man auch als Rindenborke bezeichnen kann, und der bei dem Stamme der dikotylen Holzgewächse seltener, dagegen häufiger bei deren Wurzeln zu beobachten ist, tritt meist schon während der ersten Vegetationsperiode entweder in der Innenrinde in geringerer oder grösserer Entfernung von

Fig. 228.

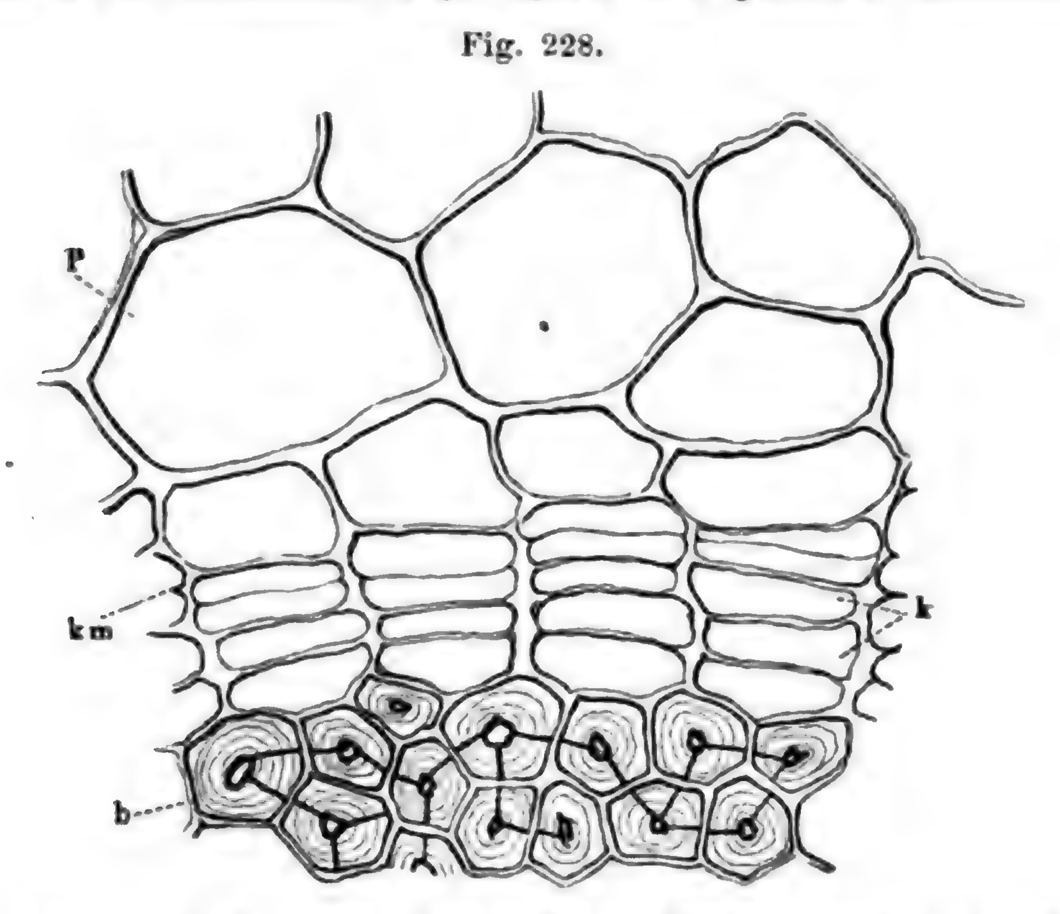


Fig. 228. Entwickelung des Korkes in dem Stengel von Rubus fruticosus. *P* Parenchym der Innenwand, *km* Korkmutterzellen, *k* junge Korkzellen, *b* Bastfasern. Vergr. 1 : 660.

der Aussenrinde (dem Collenchym) oder in vereinzelten Fällen (Physocarpus) unter dem primären Bastfaserbündel des Gefässbündels, d. h. in der secundären Rinde der Autoren, auf. Bei Lonicera, Berberis, Calutea, Caragana, Cytisus scoparius u. a. schliesst sich die Rindenborke unmittelbar oder doch nahe an die Aussenrinde an, bei den Rubus-, holzigen Spiraea-, Rosa-, Ribes-, Deutzia- und Loniceraarten, Philadelphus, Vitis, Clematis u. a. liegt sie tiefer in der Innenrinde, entweder nahe oder unmittelbar über den Bastbündeln (Fig. 228). Auch hier findet sich bei

Digitized by Google

einzelnen Gattungen, z. B. Lonicera, Spiraea, Ribes, Caragana, das Korkparenchym (Phelloderma). Die secundäre Borkenbildung, welche man bei vielen Holzarten, z. B. bei Betula alba (am Fusse), Alnus, Tilia, manchen Salix- und Populusarten vom 5. bis 10. Jahre, bei Quercus etwa vom 25. bis 35. Jahre beobachtet, und die nur bei einigen Weiden und Clematis schon frühzeitig erscheint, findet in späterem Alter bei einer grossen Zahl derjenigen Holzpflanzen statt, welche ihren Aussen- oder Rindenkork schon in der Jugend gebildet haben. Nachdem nämlich die Korkbildung hier ihr Ende erreicht hat, verdickt sich der Basttheil des Gefässbündels nach längerer Zeit in der später näher beschriebenen Weise. Dann aber entstehen in dem Bastparenchym der älteren Jahresringe an der Grenze des zunächst jüngeren Jahresringes durch Quertheilungen je nach Umständen eine kleinere oder grössere Anzahl von tangentialen Reihen tafelförmiger, dünnwandiger oder verdickter Korkzellen, welche den nach aussen von ihnen gelegenen Theil des Gefässbündels von dem noch lebenskräftigen Theile abschliessen (Fig. 229).

Fig. 229.

Fig. 229. Entwickelung des primären Korkes von Clematis vitalba. b' Bastfasern des primären Bastbündels, b'' Bastfasern der secundären schmalen Bastgruppe. *P* Bastparenchym, *Km* Korkmutterzellen, *K* junge Korkzellen. Vergr. 1 : 660.

Secundäre Borke der Laubhölzer. — Die secundäre Borke gestaltet sich bei den Laubhölzern, je nachdem als erste Korkbildung Aussen- oder Binnenkork erscheint, verschieden.

Im ersten Falle, in welchem die sogenannte Schuppenborke auftritt, werden die sich folgenden Neubildungen in der Weise entwickelt, dass die späteren, sich an die vorhergehenden ansetzend, flach bogenförmig nach innen verlaufen und derart grössere oder kleinere, verschieden gestaltete schuppenartige Stücke des lebenden Gewebes abschneiden, welche entweder abgestossen werden oder am Stamme verbleiben. Bei der Platane, dem Pflaumen- und dem Kirschbaume entwickeln sich die aus wenigen Reihen von nach aussen dünnwandigen, nach innen verdickten (Platane) oder aus mächtigeren Lagen von dünnwandigen Zellen bestehenden Korkschuppen (Fig. 230, *k*) an nicht bestimmten Stellen, es blättern die abgestorbenen Bastlagen in Form von dünnen Schuppen oder bandartigen Lappen ab, und es bleibt

Digitized by Google

der Stamm verhältnissmässig glatt. Bei unserer Eiche (Quercus robur), bei der Linde, Pappel, Erle, Robinie und Rosskastanie entstehen ähnliche,

Fig. 230.

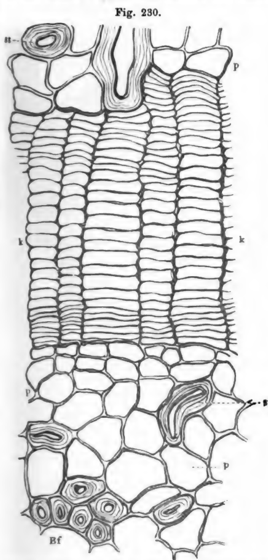


Fig. 230. Querschnitt durch die Borke des Kirschbaumes (Prunus cerasus). *Bf* Bastfasern, *p* Parenchym, *st* verdickte und versetzte Parenchymzellen, welche hier und da faserartig und verzweigt erscheinen, *k k* aus dünnwandigen Zellen bestehende Korkplatte. Vergr. 1 : 420.

meist aus derbwandigen Zellen bestehende Korkplatten (Fig. 231, *P*, *P*, a. f. S.); es fallen aber die älteren Schuppen nicht ab, sondern reissen nur an den Rändern ein, so dass der Stamm von einer, aus mehreren über einander liegenden abgestorbenen Schuppen bestehenden Borke bekleidet wird, die in ihren inneren Bezirken sämmtliche Elemente des Bastes, an ihrer äusseren Seite noch die Rinde mit dem primären Korkgewebe beobachten lässt.

Im anderen Falle werden in periodischer Folge mit dem Stammumfange concentrische Blätter des lebenden Gewebes durch die Korklagen abgeschnitten und abgestossen, und es entsteht, wie bei Clematis, Vitis, Punica granatum, die Ringelborke.

Borke der Nadelhölzer. — Unter den einheimischen Nadelhölzern gehören zu den schon frühzeitig borkebildenden Bäumen die Kiefer und Lerche, der Wachholder und der Eibenbaum.

Die beiden ersteren bilden eine rissige, jener der letztgenannten Laubhölzer ähnliche und bei der Kiefer theilweise abblätternde Borke mittelst eines aus wechselnden Lagen dünnwandiger und verdickter

Digitized by Google

Zellen bestehenden Peridermas (Fig. 232, I u. II, *P*). Sie zeichnen sich aber noch ganz besonders dadurch aus, dass bei ihnen mächtige Lagen eines nachgebildeten, grosszelligen parenchymatischen Gewebes zwischen

Fig. 231.

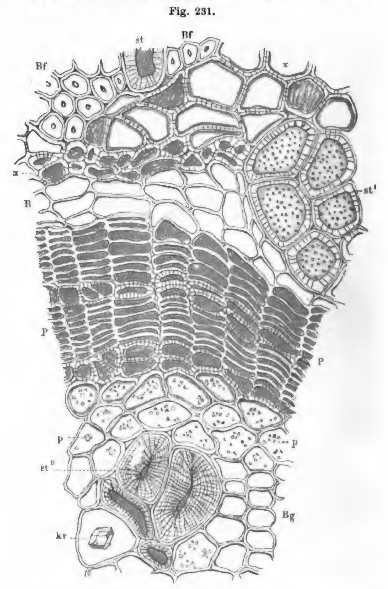
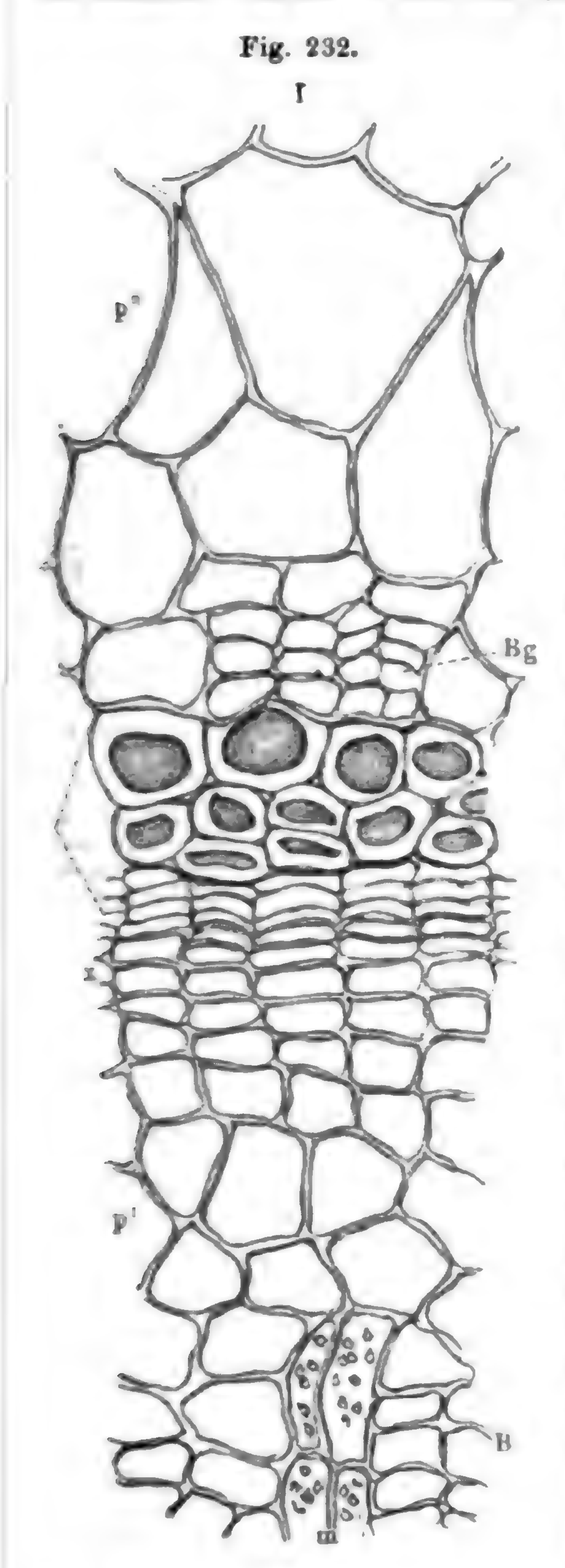


Fig. 231. Querschnitt durch die innerste Borkenlage der Traubeneiche (Quercus robur). *PP* aus derbwandigen, mit einer rothen homogenen Masse erfüllten Zellen gebildete Peridermalage. *pp* Parenchymzellen mit einzelnen Stärkekörnern, *st*' mässig verdickte Parenchymzellen (Steinzellen), *st*'' stark verdickte Parenchymzellen, *Bg* Bastgefässe (Siebröhren), *Bf* Bastfasern, *B* Parenchym und Gefäss des Bastes, *kr* grosse, einen Krystall enthaltende Parenchymzelle, *xx* eine peridermaartige Gewebegruppe. Vergr. 1 : 440.

den einzelnen Peridermaschichten auftreten, welche die Elemente des Bastbündels in kleinere oder grössere Gruppen sondern (Fig. 232, I und II, *p*''). Ob diese Gewebepartien als eine Wucherung des Bast- — in den äusseren Theilen — und des Rindenparenchyms zu betrachten sind, oder ob sie mit zur Korkbildung gehören, darüber kann nur die Entwickelungsgeschichte, sowie die Folge ihres Auftretens Aufklärung geben, denn in ihrem sonstigen Verhalten gegen chemische Reagentien, sowie gegen polarisirtes Licht stimmen sie ebenso wie die verdickten Peridermazellen nicht mit den dünnwandigen Korkzellen überein.

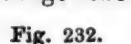
Fig. 232.



Bei dem Wachholder, welchem sich die Taxineen und Cupressineen anschliessen, erfolgt die Borkenbildung mittelst wenige Reihen zählender, auch die Markstrahlen durchsetzender, dünnwandiger, eine Ringelborke erzeugender Korkschichten (Fig. 233, *k*, *k*, a. f. S.), welche dem Umfange des Stammes folgen und so den Bast in regelmässige concentrische Blätter zerfällen, die nur einen schwachen Zusammenhang besitzen und leicht abgelöst werden können, oder sich von selbst nach aussen in unregelmässigen Lappen lostrennen. Die Fichte und Weisstanne schreiten erst im späteren Alter zur Bildung einer am Stamme verbleibenden, unregelmässig zerrissenen Borke, die aber weniger tief eindringt und namentlich nur den die bekannten verzweigten, kurzen, faserähnlichen Zellen enthaltenden Theil der Rinde, nicht aber den Basttheil des Gefässbündels ergreift.

Zum Studium der Structurverhältnisse des Korkgewebes in seinen verschiedenen Modificationen hat man, und zwar für den Aussen- wie für den primären Binnenkork noch in der ersten Vegetationsperiode, für den secundären Binnenkork auch

Digitized by Google



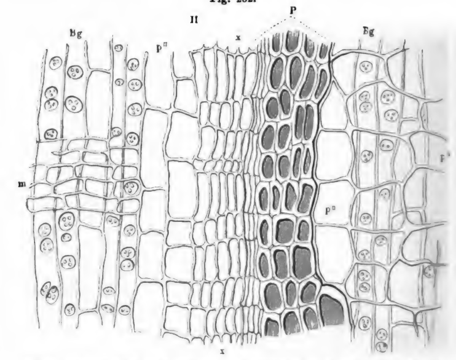


Fig. 232. Borke der Kiefer (*Pinus silvestris*). I im Querschnitt, II im Längsschnitt. *Bg* Bast-Gefässzellen (Siebröhren), p^{I} Bastparenchym, p^{II} grosszelliges, korkartiges, in bedeutenden Massen wucherndes Parenchym, *m* Markstrahl, *P* aus einer inneren dünnwandigen und einer äusseren derbwandigen Schicht bestehendes Periderma, *xx* tafelförmige Zellen vor der Peridermaplatte. Vergr. 1 : 180.

Fig. 233.

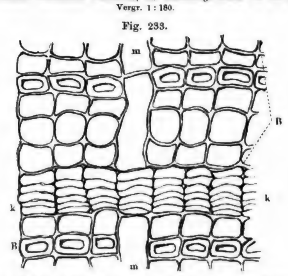


Fig. 233. Querschnitt durch die Borke von *Juniperus communis*. *BB* Elemente des Bastes, *mm* Markstrahlen, *kk* aus dünnwandigen Zellen gebildete, dem Stammumfang parallele Korkplatte. Vergr. 1 : 370.

Digitized by Google

in späteren folgeweise Quer- und Längsschnitte anzufertigen, die zunächst unter Wasser, dann aber auch unter dem Einflusse der mehrfach genannten Reagentien und Färbeflüssigkeiten zu betrachten sind. Für die genaue Kenntniss der Borke reichen diese Schnitte in dem Zustande, wie man sie dem betreffenden Pflanzentheile entnommen hat, nicht immer aus, da die von ersterer eingeschlossenen Gewebetheile meistens mehr oder minder vertrocknet und dadurch unkenntlich geworden oder bei der abblätternden Borke die Folgelagen von einander abgelöst sind. Will man sich hier eine genaue und vollkommene Uebersicht verschaffen, so muss man — nachdem man bei letzter Form zum Zwecke des Zusammenhaltes beim Schneiden die Zweigstücke vorher in eine Glycerin-Gummilösung eingelegt hatte — unter Umständen die entsprechenden Schnitte entweder einige Zeit in kalter Ammoniaklösung, Natron- oder Kalilauge einweichen, oder dieselben in dieser Flüssigkeit einige Minuten erwärmen und hierauf mittelst destillirten Wassers aussüssen. Durch diese Operation erlangt nämlich das ganze Gewebe seine ursprüngliche Spannung in mehr oder minder hohem Grade wieder und die gesammten Structurverhältnisse treten aufs Deutlichste zu Tage.

Von den hierher gehörigen Zellen lassen sich dem optischen Verhalten nach zwei Gruppen unterscheiden.

Die einen, wozu die Kork- und Peridermazellen von Quercus, Prunus, Tilia, Betula, Carpinus, Pinus (hier nur die dünnwandigen, während sich die stark verdickten — wenn sie überhaupt zum Kork- und nicht zum Rindenparenchym zu zählen sind — der nächsten Gruppe anschliessen), Ficus elastica, Lycium, Sambucus, Solanum (Stengel), überhaupt der grösseren Anzahl der Phanerogamen gehören, zeigen auf dem Gypsplättchen in Durchschnitten unter + 45° Additions-, in solchen unter — 45° Subtractionsfarben. Hieraus geht hervor, dass die grösste Achse in dem Radius dahingeht, während die Stellung der beiden anderen Achsen unbestimmt bleibt.

Die anderen, wozu u. a. die Korkzellen der Kartoffelknolle, des Stammes von Yucca und Dracaena (Yucca aloefolia und Dracaena Draco) gehören, verhalten sich auf Durchschnitten den Parenchymzellen analog. Dieselben haben somit die kleinste Achse radial gestellt.

Ungleichartige Gewebe.

IV. Gefässbündel, Stranggewebe.

Das Gefässbündel, Stranggewebe tritt nur bei jenen Gewächsen auf, bei denen sich bestimmte Achsenorgane unterscheiden lassen, während es allen Lagerpflanzen abgeht.

Das Gefässbündel geht ebenso wie alle übrigen Gewebe aus dem Urgewebe des Vegetationskegels hervor. Auf seiner ersten Entwickelungsstufe bildet es feine, aus nur einer einzigen, in ihrer Gestalt dem langgestreckten Parenchym mehr oder minder ähnelnden Zellenart bestehende,

Digitized by Google

von Sachs als Procambium bezeichnete Stränge. Erst im weiteren Entwickelungsgange beginnen und vollenden diese gleichartigen Elementartheile ihre verschiedenartige Aus- und Umbildung zu den in dem früheren Abschnitte näher gekennzeichneten Zellenarten. Diese müssen jedoch nicht immer sämmtlich vertreten erscheinen. Bei den Moosen z. B., wo es zuerst und in seiner grössten Einfachheit als unvollständiges oder rudimentäres Gefässbündel auftritt, besteht dasselbe nur aus einem Ringe von gestreckten, den leitenden Elementen des Bastes analogen, anfangs protoplasmatischen Inhalt, später Flüssigkeit führenden Zellen. Die sämmtlichen Elemente treten in ihrer Vollzahl und in um so mehr erkennbarer und scharf unterscheidbarer Weise als vollständiges Gefässbündel erst bei den höher entwickelten, insbesondere als Gefässpflanzen bezeichneten Gewächsen auf, obgleich auch hier in einzelnen, dann besonders zu beachtenden Fällen ein oder das andere Element fehlen kann.

Zur Beobachtung von Bau und Zusammenhang der Gefässbündel sind zunächst Quer- und Längsschnitte zu verwenden, welche durch die betreffenden, gegebenen Falles gehärteten Pflanzentheile geführt sind. Wo es gilt, sich einen allgemeinen Ueberblick über deren Anordnung zu verschaffen, da genügen mässig dünne Schnitte, welche den ganzen Umfang der einen entsprechend kleinen Durchmesser besitzenden Abschnitte des Stengels der Wurzel u. s. w. umfassen. Für die genauere Ermittelung der Einzelheiten des Baues sind dagegen ausreichend dünne Schnitte erforderlich, welche auch die Anwendung stärkerer Vergrösserungen gestatten. Im weiteren Verfolge sind dann die einzelnen Elemente durch Maceration zu trennen und in der bei den einzelnen Zellenarten angegebenen Weise zu untersuchen. Um sich über den Bestand der Zellwände, d. h. darüber, ob dieselben aus reinem Zellstoff oder aus Pectosezellstoff bestehen, ob dieselben eine chemische Umbildung erfahren haben oder nicht, und in letzterem Falle in welchem Maasse, zu unterrichten, dient zunächst die Behandlung mit den betreffenden Zellstoff-, Pectose-, Holz- und Korkstoffreagentien und den betreffenden, aus dem Vorausgehenden bekannten Färbeflüssigkeiten, von denen die auf Pectose zugleich differenzirend wirken, indem z. B. Safranin die unverholzten Wände orange, die verholzten rosenroth, Methylenblau die ersteren blauviolett, die anderen grünblau, Naphtylenblau jene roth-, diese blauviolett färbt. Corallinlösung färbt die unverholzten Zellwände rosa, die verholzten und verkorkten korallen- oder bräunlichroth. Zu Doppelfärbungen eignen sich Pikro-Nigrosin und Pikro-Anilinblau, wodurch die verholzten Wände gelb, die unverholzten violett, beziehentlich blau gefärbt erscheinen. Methyl- oder Jodgrün und Carmin- oder Hämatoxylinlösung giebt ebenfalls schöne Doppelfärbungen, bei denen die verholzten Wände blaugrün, die unverholzten roth, beziehentlich violett gefärbt werden. Alle diese Färbungen eignen sich indessen nicht für Dauerpräparate, da die betreffenden Farben, mit Ausnahme derer des Carmins und Häma-

Digitized by Google

toxylins, rasch verblassen oder bei der Vorbehandlung für den Einschluss ausgezogen werden. Eine dauernde Doppelfärbung giebt Methylviolett und Carmin. Man bringt dazu die Schnitte erst in eine alkoholische Methylviolettlösung, entfärbt die unverholzten Wände durch Auswaschen in Alkohol, überträgt für kurze Zeit in Wasser und dann in eine Carminlösung. Vorgängige Färbung mit wässeriger Methylenblau- oder 50proc. alkoholischer Cyaninlösung, Entfärben der unverholzten Wände mittelst Alkohols, Uebertragen in Wasser und Nachfärben mit Rutheniumroth ergiebt Blaufärbung der verholzten und Rothfärbung der unverholzten Elemente. Sehr schöne Präparate erhält man, wenn zuerst mit Cyanin gefärbt, darauf mit Alkohol der Farbstoff aus den unverholzten Wänden ausgezogen und das Object schliesslich in Nelkenöl gebracht wird, in welchem Eosin gelöst ist. Verholzte und verkorkte Zellwände werden dabei leuchtend hellblau, die unverholzten rosa bis roth-orange gefärbt. Zum Einschluss verwendet man am besten Canadabalsam oder Dammarlack, in welche aber bei den ersteren Färbungen unmittelbar aus dem zum Auswaschen beziehungsweise zum Entwässern benutzten Alkohol, den man aus dem Präparate auf dem Objectträger mit Fliesspapier aufnimmt, übertragen werden muss, da nach meinen Erfahrungen Xylol sowohl wie Nelkenöl abblassend auf die blauen Farben wirken.

1. Rudimentäres Gefässbündel.

Gefässbündel der Laubmoose.

Das unvollständige Gefässbündel in seiner allereinfachsten Gestalt, in der es lediglich aus langgestreckten Zellen besteht, tritt erst bei den Laubmoosen, und zwar noch nicht durch alle Gattungen verbreitet auf.

Fig. 234.

Fig. 234. Mittlerer Theil eines Querschnittes durch den Stengel von Climatium dendroides. G centrales Gefässbündel, P braun gefärbtes Stengelparenchym. Vergr. 1 : 400.

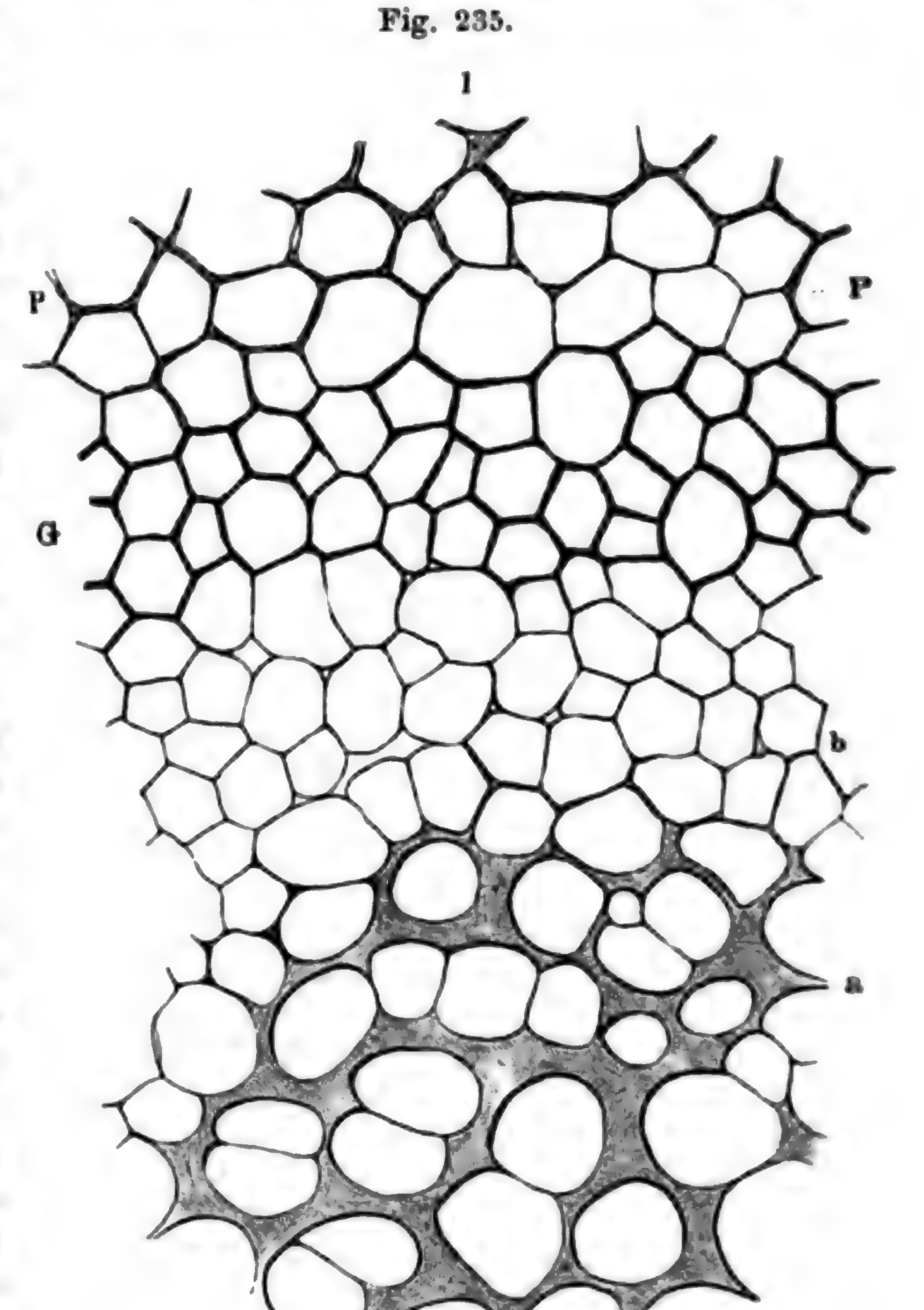
Diejenigen Moose, welche mit Bestimmtheit einen von dem übrigen Gewebe unterscheidbaren Cylinder eigenartig ausgebildeter Zellen, also ein Gefässbündel in seiner einfachsten Gestalt beobachten lassen, zeigen in Bezug auf dessen Bau wiederum einige Verschiedenheiten, welche indessen weniger wesentliche als formelle sind.

Bei Dicranum scoparium, Climatium, Hypnum, Webera z. B. sind es nur einige wenige entweder derbwandigere oder zart-

Digitized by Google

wandigere, von dem Stengelparenchym keineswegs entschieden scharf getrennte, doch ein kleineres Lumen besitzende und bräunlich gefärbte Zellen, welche den centralen Zellenstrang bilden. Dieselben sind länger gestreckt, als das übrige Stengelparenchym, besitzen horizontale, meist nach oben etwas convexe Querscheidewände und führen durch Jod sich gelb färbenden feinkörnigen, oder sich nicht färbenden wässerigen Inhalt, so dass man sie unbedenklich für die Säfte leitenden Elemente ansprechen darf. Bei Bryum nimmt dieser Gefässbündelstrang einen weit bedeutenderen Theil des Stengels in Anspruch und ist weit schärfer abgegrenzt, besteht aber immer noch aus einer einzigen Zellenart, die sich durch zarte Wandungen von den umgebenden Gewebezellen unterscheidet.

Fig. 235.



Einen etwas zusammengesetzteren Bau, als bei den vorhergehenden Moosen, habe ich bei den verschiedenen Mnium- und Polytrichumarten gefunden.

Bei den ersteren besteht das — wie bei der vorigen Gruppe noch centrale — Gefässbündel aus zwei verschiedenen Elementen, die sich auf dem Querschnitte schon durch die Beschaffenheit der Zellwände unterscheiden. Die Mitte desselben wird von einem polygonalen zartwandigen Gewebe eingenommen, während der Umfang aus einem Ringe etwas derbwandigerer, gelblich oder röthlichgelb gefärbter Zellen besteht. Beobachtet man im Längsschnitt, so erscheinen beide Zellenformen weit stärker in die Länge gestreckt, als die Zellen des zwischen dem Rindenkörper und dem Gefässbündel liegenden Parenchyms.

Digitized by Google

Die ersteren besitzen ähnliche Querscheidewände, wie die entsprechenden Zellen der oben besprochenen Moose, die letzteren dagegen haben stark geneigte Querscheidewände und nähern sich mehr oder minder der Faserform. Nach aussen wird das Gefässbündel zunächst von einem Hohlcylinder von dunkel gefärbten Parenchymzellen umgeben, nach denen erst das gewöhnliche gestreckte Parenchym folgt. Es tritt sonach schon hier ein Analogon der Gefässbündelscheide der höheren Kryptogamen auf.

Die Polytrichumarten haben im Centrum einen Cylinder von inneren, weiten, ziemlich stark und unregelmässig all- oder einseitig verdickten, röthlichgelb gefärbten und von äusseren dünnwandigen, grössere oder kleinere Intercellularräume zwischen sich lassenden Zellen (Fig. 235, *a* und *b*). Diesen inneren Strang umgiebt ein je nach den verschiedenen Arten verschieden breiter geschlossener Ring eines regelmässigen, zartwandigen, hellgelblich gefärbten Gewebes (Fig. 235, *G*), der seinerseits wieder von einem ein bis zwei Reihen breiten Ringe meist schwarzbraun

Fig. 235.

Fig. 235. I Querschnitt, II Längsschnitt aus der Mitte des Stengels von Polytrichum commune. *a* unregelmässig verdickte Zellen des Markes, *b* kürzere innere, *G* gestreckte äussere, dünnwandige Zellen des Gefässbündels. *P* Stengelparenchym. Vergr. 1 : 360.

Digitized by Google

gefärbter dünnwandiger Zellen umgeben wird, in dem wir einen ähnlichen Gewebetheil wie bei Mnium vor uns haben. Der centrale Cylinder giebt sich im Längsschnitt als ein Bündel von sehr in die Länge gestreckten, mit horizontalen oder schiefen, im ersten Falle dünnwandigen, im anderen Falle verdickten Querwänden zusammenstossenden, also faserähnlichen Zellen zu erkennen (Fig. 235, *a*, a. v. S.) und wird von einem Ringe zartwandigen Parenchyms umgeben (Fig. 235, II, *b*). Der hierauf folgende Hohlcylinder erscheint aus noch stärker in die Länge gestreckten, Eiweisssubstanzen, untermischt mit kleinen Stärkekörnchen, als Inhalt führenden Zellen zusammengesetzt, deren horizontale Querwände etwas nach oben gewölbt sind (Fig. 235, II, *G*). Es lässt sich dieser letztere Theil somit als der dem Basttheil, der innere Ring zartwandiger Zellen (*b*) vielleicht als der dem Holztheil eines rudimentären concentrischen Gefässbündels entsprechend, der innere Strang (*a*) aber als das aus der Festigung dienenden Elementen aufgebaute Mark auffassen.

Zur Untersuchung des Gefässbündels der Moose bedarf man zarter Quer- und Längsschnitte. Die ersteren fertigt man an, indem man einzelne Stengel, oder, bei sehr dünnstengeligen Moosen, ein mittelst dicker Gummilösung hergestelltes Stengelbündelchen zwischen Hollundermark klemmt und dann die Schnitte durch dieses und das Object zugleich führt. Gute Längsschnitte lassen sich am leichtesten in der Weise herstellen, dass man einen Stengel zwischen Kork klemmt, den hervorragenden Theil auf diesen niederstreckt und mit dem Zeigefinger der linken Hand in dieser Lage möglichst straff anzieht. Neben diesen Schnitten versäume man aber auch die Beobachtung von mittelst Kalilauge hergestellten Macerationspräparaten nicht, weil man durch diese einen genauen Einblick in die Zellenformen erhält.

Schleiden: Grundzüge. 3. Aufl., Bd. II, S. 79.

Schacht: Lehrbuch der Anatomie und Physiologie. Bd. I, S. 314; Bd. II, S. 34 u. f.

W. Schimper: Versuch einer Entwickelungsgeschichte der Torfmoose.

Unger: Ueber den anatomischen Bau des Moosstammes in: Sitzungsbericht der k. k. Akademie der Wissenschaften. Bd. 43, S. 497.

Zukal: Beitrag zur Kenntniss der Anatomie der Sphagneen. Bot. Ztg. 1863, S. 353.

Lorentz: Moosstudien, 1864. I. Bau und Entwickelungsgeschichte der Laubmoose und Grundzüge zu einer vergleichenden Anatomie der Laubmoose. Pringsh. Jahrb., Bd. VI, S. 363, 1868.

Haberland: Ueber die physiologische Function des Centralstranges im Laubmoosstämmchen. Ber. d. bot. Gesellsch., Bd. I, S. 263, 1883.

2. Vollständiges Gefässbündel.

Je nach dem Verhalten des die Elemente des Gefässbündels erzeugenden Bildungsgewebes, d. h. des **Cambiums**, unterscheidet man zwei Gruppen. Währt die Bildungsfähigkeit des Cambiums nur eine

Digitized by Google

bestimmte Zeit und geht dasselbe dann in ein als Cambiform bezeichnetes Dauergewebe über, wie bei den höheren Kryptogamen, Monokotyledonen und manchen Dikotyledonen, dann bezeichnet man das Gefässbündel als geschlossenes. Wiederholt sich dagegen die Neubildung der Gewebeelemente mit jeder neuen Vegetationsperiode, so spricht man von offenen oder fortwachsenden Gefässbündeln.

In beiden Gruppen unterscheiden sich die drei Zellenarten sowohl in ihrer weiteren Ausbildung als ihrer Lebensthätigkeit, und es bilden die einen als Holzgefässe, Holzfasern und Holzparenchym den Holz-, die anderen als Bastgefässe (Siebröhren), Bastfasern und Bastparenchym nebst Geleitzellen den Basttheil (Siebtheil, De Bary) des Gefässbündels, welche beide durch das Cambium beziehentlich das Cambiform von einander getrennt und bei den ausdauernden Dikotyledonen von dem Zwischengewebe (Markstrahlen) durchsetzt erscheinen. Nach der gegenseitigen Lage dieser beiden Theile unterscheidet man drei, öfter durch Uebergänge verbundene, als collaterales, concentrisches und radiales Gefässbündel bezeichnete Formen. In dem vorzugsweise in Stamm und Blatt der Phanerogamen, mehr vereinzelt bei den Kryptogamen, z. B. den Equiseten, sowie einigen Farnkräuterfamilien (Osmundaceen und Ophioglossaceen) auftretenden, also sowohl als geschlossenes, wie als offenes erscheinenden collateralen Gefässbündel liegen Holz- und Basttheil, durch das Cambiform oder Cambium getrennt, einander gegenüber, und zwar in der Regel so, dass der erstere der Achse, der andere dem Umfange des betreffenden Pflanzentheiles zugewendet ist. Als Unterform schliesst sich das sogenannte bicollaterale Bündel an, bei welchem je ein Basttheil vor und hinter dem Holztheil liegt (Cucurbita, Bryonia u. a.). In dem concentrischen Gefässbündel nimmt der eine Theil die Mitte ein und wird von dem anderen umgeben und es treten bei demselben insofern zwei Unterformen auf, als entweder, wie bei den meisten Farnkräutern, Rhizocarpeen, manchen Wasserpflanzen u. a. der Holztheil, oder, wie bei dem Wurzelstock von Iris, Phragmites, Acorus Calamus u. a., der Basttheil der Mitte angehört. In dem radialen Gefässbündel der meisten Wurzeln und des Stammes der Lycopodiaceen gehen zwei oder mehrere Holztheile streifen- oder strahlenförmig von der Mitte aus und es liegen gleich viele, mit ihnen abwechselnde Basttheile zwischen denselben.

A. Gefässbündel der höheren Kryptogamen.

Das Gefässbündel der höheren Kryptogamen besteht im ausgebildeten Zustande zum grössten Theile aus Röhren- und langgestreckten Parenchymzellen. Es fehlen demselben indessen die Faserzellen nicht gänzlich, wenn sie auch häufig einen verhältnissmässig nur geringen Antheil an seiner Zusammensetzung nehmen und erst nach sorgfältigster Untersuchung darin aufzufinden sind.

Digitized by Google

Das Gemeinsame des Gefässbündels fast sämmtlicher hierher gehörigen Pflanzenclassen besteht darin, dass die volle Ausbildung aller an der Zusammensetzung Theil nehmender Elemente in kurzer Zeit erreicht wird, eine Nachbildung der letzteren dann nicht mehr erfolgt und dass die Entwickelungsfolge sich von einem oder mehreren in dem Cambiumstrange nahezu peripherisch gelegenen Punkten aus entweder nach der Innenseite hin, oder nach mehreren von dem Entwickelungscentrum ausstrahlenden Richtungen hin vollzieht. In Bezug auf die Anordnung der verschiedenen Elementarorgane, beziehentlich der Stellung von Holz- und Basttheil, finden wir in den verschiedenen Familien die drei weiter oben gekennzeichneten Formen des Gefässbündels vor.

a) Gefässbündel der Schachtelhalme.

Die Gefässbündel der Schachtelhalme bilden einen den grossen centralen, durch theilweise Resorption des Markes entstandenen Luftgang

Fig. 236.

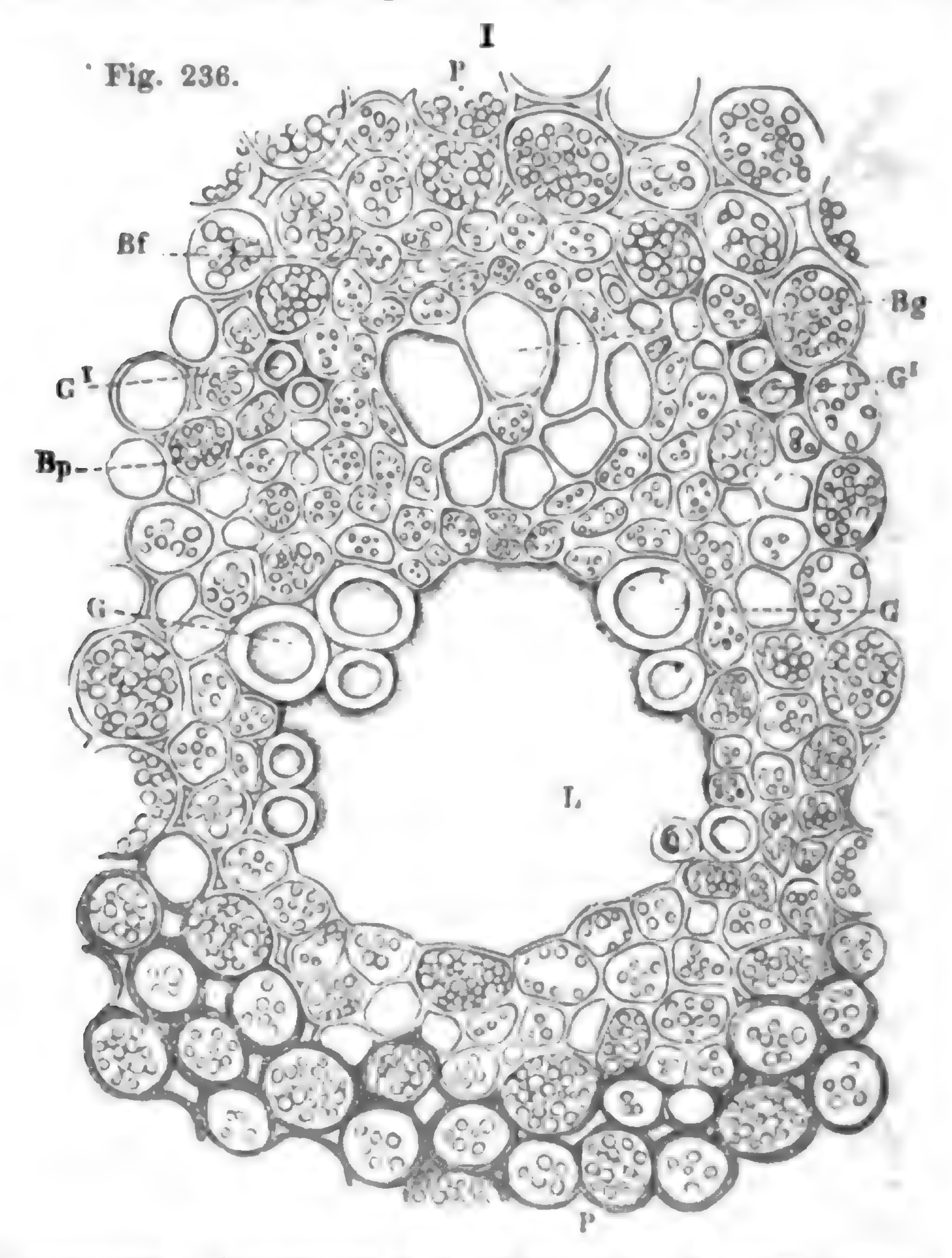
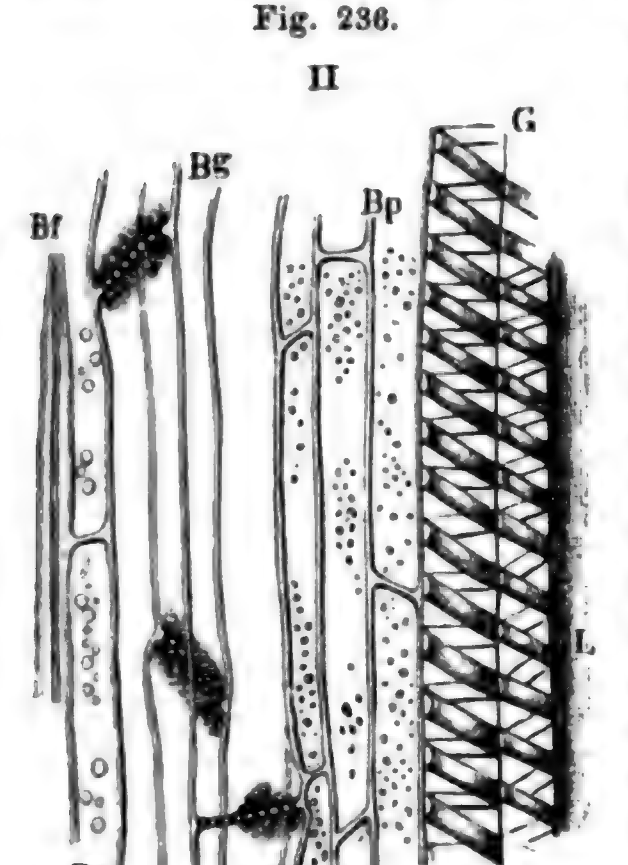


Fig. 236. I Querschnitt, II Längsschnitt durch das Gewebe von Equisetum hiemale. *L* Luftgang, *G* grosse, *G*¹ kleine Gefässzellen, *Bg* Bastgefässe (Siebröhren), *Bf* Bastfasern, *Bp* Bastparenchym, *P* stärkeführendes Stengelparenchym. Vergr. 1 : 310.

Digitized by Google

umgebenden Kreis, werden durch breite Schichten weiter Parenchymzellen von einander getrennt und stellen eine eigenartig ausgebildete, den Uebergang zu dem concentrischen vermittelnde Unterform des collateralen Gefässbündels vor.

Fig. 236.



Die nach dem Marke gewendete Seite, d. h. der Holztheil, wird zum grössten Theile von einem weiten Luftgange eingenommen, der durch Resorption eines Stranges von gestreckten, hier und da mit einzelnen Gefässen oder Gefässzellen untermischten dünnwandigen Parenchymzellen entstanden ist. In seine Höhlung ragen jederseits eines, zwei oder mehrere ring-, spiral- oder netzförmig verdickte Gefässzellen hinein (Fig. 236, *G*), und der Umfang wird von ziemlich regelmässigem, derbwandigem, engerem Parenchym gebildet, welches, je nach verschiedenen Arten, von den oben erwähnten dickwandigen oder weitlumigen, dünnwandigen Zellen umschlossen wird. Zwei andere Gruppen von Gefässzellen finden sich nach der Rindenseite hin zu beiden Seiten (G^1). Von diesen vier Gefässgruppen und dem dünn-, bei manchen Arten auch ziemlich dickwandigen Parenchym des Grundgewebes eingeschlossen erscheint der aus verschiedenartigen Elementen bestehende Basttheil.

Zur Ermittelung der einzelnen, das Gefässbündel zusammensetzenden Elemente und der für diese in Betracht kommenden Structurverhältnisse müssen neben dem Querschnitte radiale Längsschnitte und Macerationspräparate verwendet werden. Der Holztheil besteht aus nur zwei Zellenformen aus den erwähnten ring-, spiral- oder netzförmig verdickten Röhrenzellen und langgestrecktem, stärkeführendem Parenchym, welches theils die Umgebung des Luftganges, theils die Verbindung zwischen den beiden äusseren und inneren Gefässzellengruppen bildet. Der Basttheil dagegen lässt schon auf dem Querschnitte drei verschiedene Zellenformen erkennen. Die Grundmasse desselben besteht in der Regel aus ziemlich regelmässigen, dünnwandigen, engen, stärkeführenden Zellen (Fig. 236, I, *Bp*). Zwischen diesen finden sich vereinzelt oder in kleinen Gruppen von zwei bis drei neben einander liegend Zellen von weiterem Lumen und mehr unregelmässig vieleckiger bis rundlicher Gestalt eingelagert, die entweder feinkörnigen Inhalt oder Luft führen (Fig. 236, I, *Bg*). An der Aussenseite endlich trifft man eine ununterbrochene Reihe oder mehrere kleinere Gruppen von Zellen mit mehr oder minder

Digitized by Google

engem, rundlichem Lumen und stärkerer all- oder einseitiger Wandverdickung (Fig. 236, I, *Bf*, S. 354). Ein passender Längsschnitt lässt diese drei Elemente sofort auf das Klarste von einander unterscheiden. Die regelmässig polygonalen Zellen erweisen sich als langgestrecktes Parenchym mit horizontalen Querwänden (Fig. 236, II, *Bp*, a. v. S.). Die weiteren, in dieses letztere eingestreuten Zellen besitzen stärker verdickte, siebförmig durchbrochene, horizontale oder wenig geneigte, nach oben etwas convexe Scheidewände, über welche in der Regel eine schleimig körnige Inhaltsmasse gelagert ist, und sind somit als die dem Baste eigenthümliche Gefässform: Siebröhren anzusprechen (Fig. 236, II, *Bg*), während die dritte Zellenform echte Faserzellen, Bastfasern u. s. w. bildet (Fig. 236, II, *Bf*).

Etwas anders als in dem Stengel gestaltet sich die Vertheilung der Elementarorgane in dem einzigen mittelpunktständigen, von einer Scheide tangential etwas in die Länge gezogener dickwandiger und braun gefärbter Parenchymzellen umgebenen Gefässbündel der Wurzel. Hier nehmen die hier und da mit Parenchym untermischten Gefässzellen etwa die Mitte ein und werden nach aussen auf drei Seiten von langgestreckten, engen Parenchymzellen umgeben, während die vierte Seite von dieser Zellenart und einigen durch ein weites Lumen sich kundgebenden Bastgefässen eingenommen wird. In einzelnen Fällen findet sich statt der centralen Gefässgruppe nur ein einziges weites Gefäss, welches nach Schacht später resorbirt werden soll, so dass an dessen Stelle ein Luftgang tritt.

b) Gefässbündel der Lycopodiaceen.

Bei dieser Pflanzenclasse finden wir entweder nur ein einziges (Lycopodium) oder mehrere, manchmal durch ein wahres Zwischengewebe getrennte (Selaginella), bei den ersteren der radialen, bei den anderen der concentrischen Form angehörende zwei- bis mehrstrahlige Gefässbündel, welche die Mitte des Stengels einnehmen und entweder durch eine mehrschichtige Scheide dickwandiger, faserförmiger Zellen oder ein schwammförmiges Gewebe vom Grundgewebe getrennt werden (Fig. 237 und 238).

In der Zusammensetzung des Gefässbündels zeigen beide Gattungen eine fast vollständige Uebereinstimmung.

Der Holztheil besteht aus weiteren und engeren Gefässzellen, von denen die ersteren mehr nach dem Inneren auftreten und treppenförmig poröse Verdickung beobachten lassen, während die anderen auf einzelne Punkte oder grössere Strecken der Peripherie vertheilt sind und zum Theil treppenförmig porös, zum Theil, und zwar an den nach aussen gewendeten, also älteren Stellen der einzelnen Bänder, ring- und spiralförmig verdickt erscheinen. Die Gestalt des Holztheiles ist auf dem Querschnitte theils lappenartig bandförmig, theils rundlich, nahezu

Digitized by Google

kreisförmig, und es erscheinen die einzelnen derart gestalteten Bänder bei Lycopodium entweder durch einzelne schmälere, aus nur engen Gefäss-

Fig. 237.

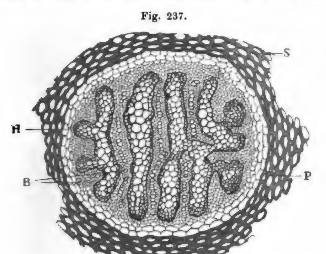


Fig. 237. Querschnitt durch den Stengel von Lycopodium annotinum. *S* Faserscheide, *P* Gefässbündelscheide und dünnwandiges Parenchym in der Umgebung des Gefässbündels, *H* Holztheil, *B* Basttheil des Gefässbündels. Vergr. 1 : 120.

zellen bestehende Brücken mit einander verbunden, oder auch vereinzelt innerhalb des Basttheiles gestellt.

Fig. 238.

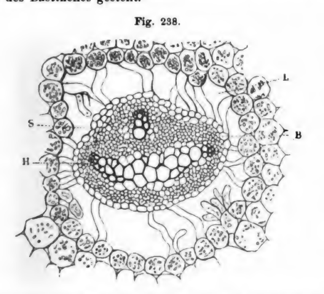


Fig. 238. Querschnitt durch den Stengel von Selaginella caesium. *L* Luftlücken um das Gefässbündel, von haarartigen Zellen durchsetzt. Bezeichnung sonst gleich, wie Fig. 237. Vergr. 1 : 180.

Digitized by Google

Der Basttheil nimmt die ganze Peripherie des Gefässbündels ein und zieht sich bei Lycopodium zwischen die einzelnen Bänder des Holztheiles hinein, so dass bei mehrfacher Verbindung dieser nicht selten einzelne kleinere Bastgruppen inmitten der Gefässzellen auftreten. Die zusammen-

Fig. 239.

I

Fig. 239. I Querschnitt, II Längsschnitt durch das Gefässbündel von Lycopodium annotinum. Bezeichnung wie Fig. 236 [1]). Vergr. 1 : 700.

setzenden Zellen sind dreierlei Art. Zunächst erscheint als Grundmasse ein enges, derbwandiges, langgestrecktes, Stärke führendes Parenchym,

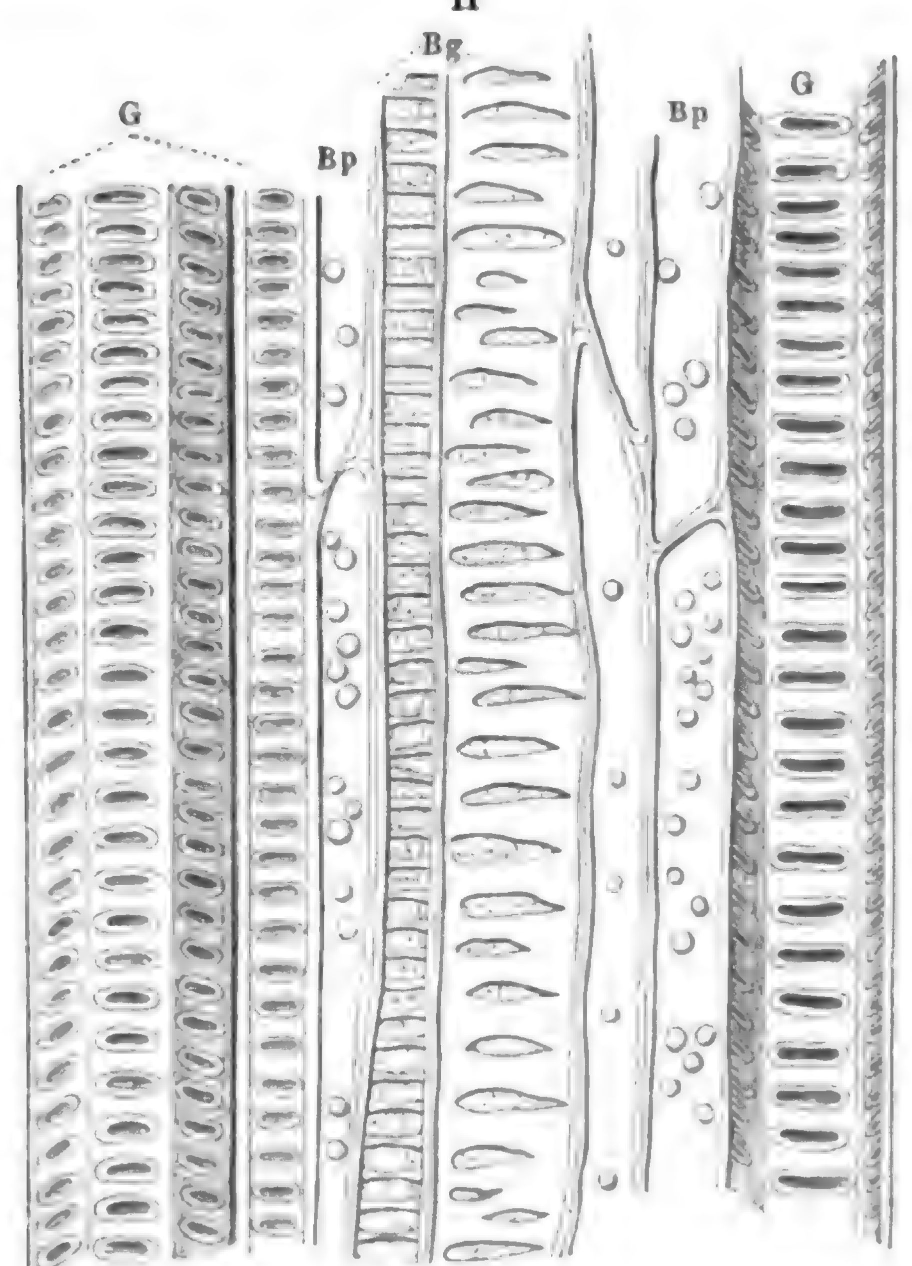
[1]) Die Bezeichnung für die Gefässbündelelemente ist für alle folgenden Figuren gleich, es bedeutet: *G* Gefässe oder Gefässzellen, *Bg* Bastgefässe (Siebröhren), *Hf* Holzfasern, *Hp* Holzparenchym, *Bf* Bastfasern, *Bp* Bastparenchym.

Digitized by Google

inmitten dessen die bei Lycopodium sehr weiten, bei Selaginella (arborea) weniger weiten Siebröhren ihren Platz nehmen, und zwar entweder vereinzelt und durch eine oder mehrere Reihen des Parenchyms von einander getrennt, oder zu kleineren Gruppen vereinigt (Fig. 239, I, *Bg*). Die dritte Zellenform besteht aus wahren, durch engeres Lumen und stärkere

Fig. 239.

II



Wandverdickung sich auszeichnenden Faserzellen. Dieselben erscheinen bei Lycopodium in kleineren Gruppen, namentlich da, wo die zwischen die Bänder des Holztheiles eingeschobenen Bastbänder in den äusseren Bastring übergehen, bei Selaginella dagegen mehr vereinzelt innerhalb des letzteren.

c) Gefässbündel der Farnkräuter.

Die einzelnen, bald mehr der Kreisform sich nähernden, bald bandartig in die Länge gestreckten Gefässbündel bilden hier im eigentlichen

Digitized by Google

Stengel einen das Mark umgebenden Kreis. Von dem Parenchym des Markes und der Rinde werden dieselben in der Regel durch eine Scheide in radialer Richtung verschmälerter, dünnwandiger, bis ein- oder allseitig verdickter, gestreckter, häufig faserähnlicher Parenchymzellen getrennt. Hier und da indessen ist der Uebergang aus den parenchymatischen Elementen des Gefässbündels in jene des allgemeinen Parenchyms eine mehr allmälige (Osmunda).

Seinem allgemeinen Bau nach zeigt das Gefässbündel der Farnkräuter zwei verschiedene Formen. Bei denen aus den Familien der Hymenophyllaceen, Polypodiaceen, Cyatheaceen, Gleicheniaceen, Schizaeaceen und Marattiaceen gehört es der concentrischen Form an und die Mitte desselben wird von dem Holztheile, der Umfang aber von dem Basttheile eingenommen (Fig. 240). Die Ophioglossaceen und Osmunda

Fig. 240.

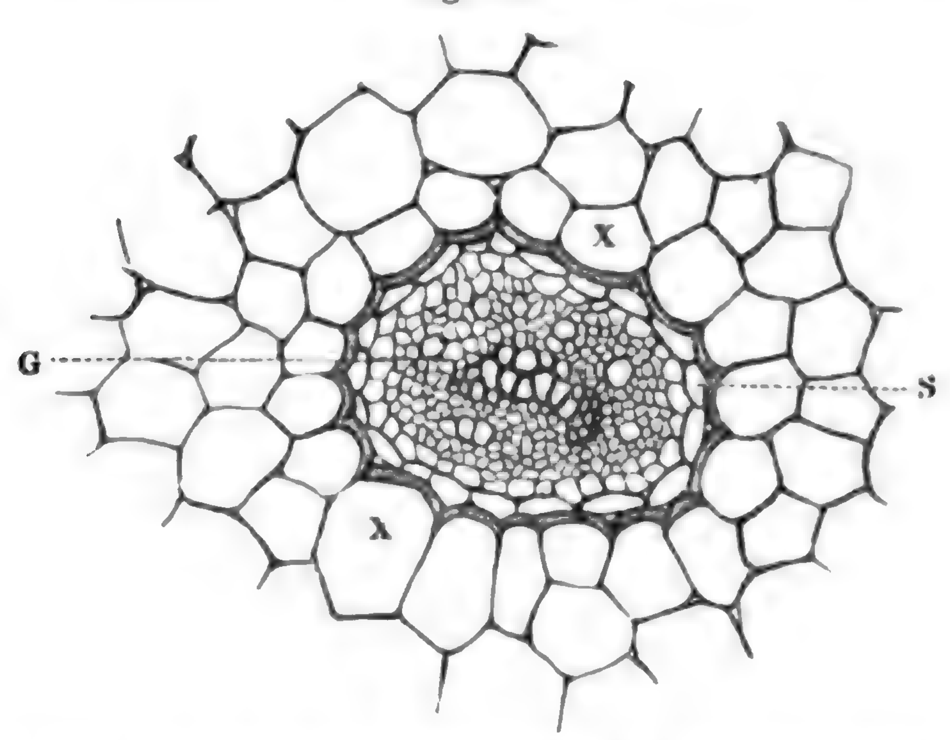


Fig. 240. Querschnitt durch den unterirdischen Stengel von Polypodium commune. *G* Gefässbündel, *S* Gefässbündelscheide, *X* einseitig verdickte Zellen ausserhalb der letzteren. Vergrösserung 1 : 200.

dagegen besitzen ein collaterales Bündel, welches im Wurzelstock aus durch parenchymatisches Zwischengewebe getrennten, in einen Kreis angeordneten, keilförmigen Einzelbündeln besteht, in dem Wedelstiele aber eine bandartige, halbmond- oder hufeisenförmige Gestalt besitzt, während der Holztheil nach innen, der Basttheil nach aussen gelagert erscheint. Die Elemente der beiden Theile sind bei beiden Formen im Allgemeinen gleichartig angeordnet und gebaut.

Der Holztheil besteht mindestens aus zwei, in manchen Fällen aber aus drei Zellenformen. Im ersteren Falle findet sich neben gefässartigen, langgestreckten, spindelförmig endenden Röhrenzellen nur langgestrecktes Parenchym, während im anderen zu diesem noch echte Gefässe, d. h. Röhrenzellen mit von jener der Seitenwände abweichender Structur der mehr oder minder schief geneigten Querscheidewände hinzutreten. Man

Digitized by Google

wird daher bei der einschlägigen Untersuchung sein Augenmerk besonders auf diese Verhältnisse zu richten haben.

Die Röhrenzellen, welche die ältesten Theile des Gefässbündels bilden, besitzen ein enges Lumen und sind ring- oder spiralförmig verdickt, während die später entstandenen, meist bedeutend weiteren, die bekannte treppenförmige Verdickung beobachten lassen. Hierbei treten dann aber die schon weiter oben berührten Verschiedenheiten auf, indem nur da, wo je zwei Gefässe an einander grenzen, entschieden in die Breite gezogene, behöfte Poren auftreten, während diese da, wo Röhrenzellen an Parenchymzellen oder enge faserartige Zellen grenzen, ein mehr

Fig. 241.

I

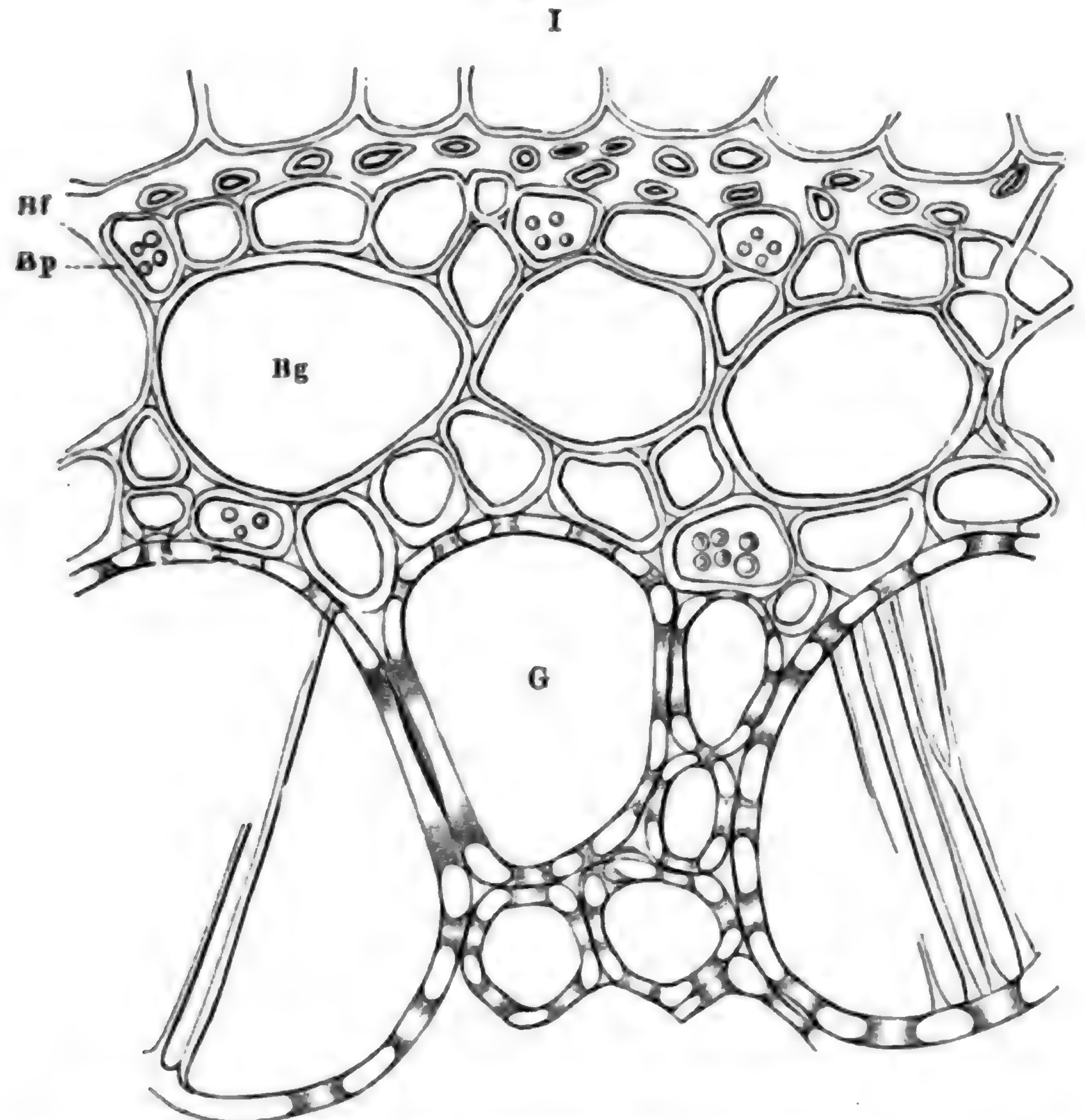


Fig. 241. I Querschnitt aus dem Gefässbündel von Pteris aquilina. Vergr. 1 : 420.

oder minder kreisförmiger Hof mit spaltenförmigem Porencanal erscheint (Fig. 241, I u. II). Die Durchbrechung der Querscheidewand, welche sich sehr schön bei unserem einheimischen Adlerfarn beobachten lässt, zeigt, soweit meine Beobachtungen reichen, nur die früher erwähnte leiterförmige Verdickungsform (Fig. 241, I, *G*, mit einzelnen Resten der durchschnittenen Querwände).

Digitized by Google

Das Holzparenchym steht theils zwischen den Röhrenzellen, theils in der nächsten Umgebung dieser letzteren als Scheide zwischen Holz- und Basttheil. Dasselbe ist langgestreckt und führt gleich jenem der höheren Gewächse Stärke. Die Längswände sind, wo sie an gleichartige Elemente grenzen, glatt, d. h. ohne verdünnte Stellen der secundären Verdickungsschicht, besitzen aber da, wo sie mit Gefässzellen zusammenhängen,

Fig. 241.

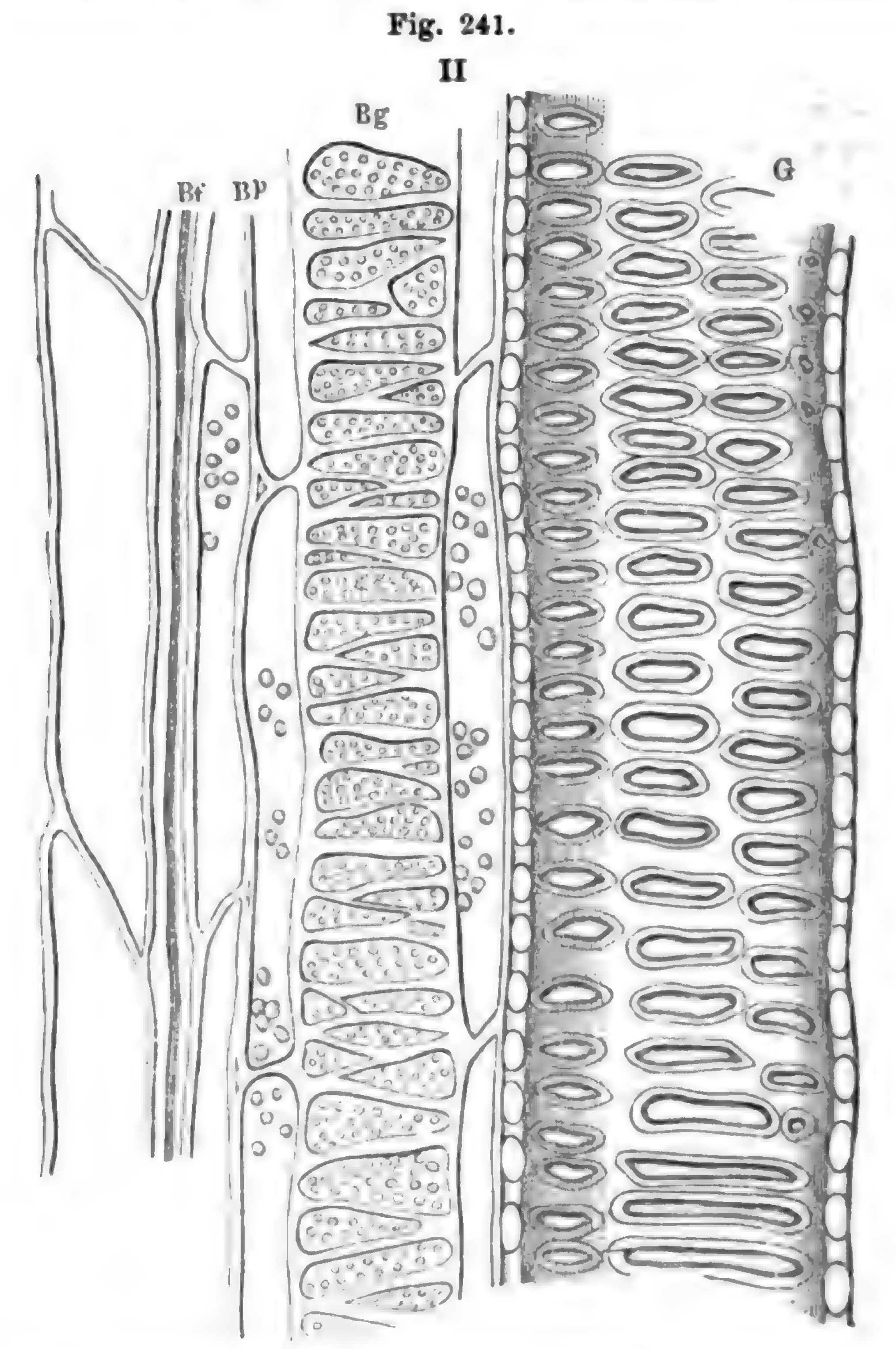


Fig. 241. II Längsschnitt aus dem Gefässbündel von Pteris aquilina. Vergr. 1 : 420.

seichte, geschlossene und unbehöfte Poren, deren Gestalt mit der des Porenhofes der angrenzenden Gefässwände übereinstimmt.

An der Zusammensetzung des Basttheiles nehmen die drei verschiedenen Zellenformen Theil. Der grössere Theil wird in der Regel von mehr oder minder regelmässig vieleckig gestalteten, dünnwandigen Parenchymzellen eingenommen, welche in jeder Beziehung jenen des Holz-

Digitized by Google

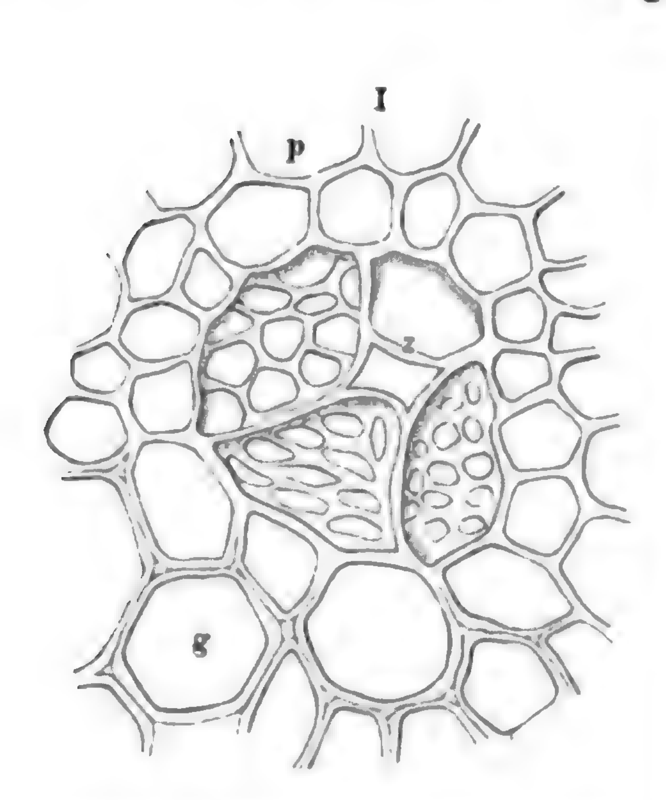
theiles gleichen. Innerhalb dieser treten auf dem Querschnitte sich durch weiteres Lumen kenntlich machende, entweder eine mehr oder minder zusammenhängende Reihe oder kleinere Gruppen bildende Zellen auf, welche statt Stärke entweder einen trüblich feinkörnigen Inhalt führen oder entleert erscheinen (Fig. 241, I, *Bg*, a. v. S.). Beobachtet man diese Elemente auf dem Längsschnitte, so geben sich dieselben sofort als die Röhrenzellen des Basttheiles, d. h. als die Siebröhren (Bastgefässe) zu erkennen. Dieselben sind stark in die Länge gezogen und stehen bei dem Adlerfarn, sowie bei dem tropischen Baumfarn mittelst schief geneigter Querwände in Verbindung, welche eine der in Fig. 186, II u. III, und Fig. 187, III u. IV, dargestellten ähnliche Structur erkennen lassen. Die Längswände zeigen sowohl bei ein- und derselben Art, wie bei verschiedenen Arten und Gattungen in ihrer Structur mannigfache Abwechselung, stimmen aber darin überein, dass sie die diesem Elemente des Bastes eigenen Siebporen der secundären Verdickung unzweifelhaft erkennen lassen. Bei dem Adlerfarn ist in der Regel bei den weiteren Bastgefässen eine weitmaschige, netzförmige (Fig. 241, II, *Bg*), bei den engeren eine rundlich oder länglichrund poröse Verdickung vorhanden, zwischen deren Leisten oder innerhalb deren schmalem Hofe die kleinen Poren auftreten. Die von mir bis jetzt untersuchten Baumfarne dagegen zeigen an ihren meist sehr weiten Siebröhren kleinere rundliche oder länglichrunde, ziemlich unregelmässig über die Längswand zerstreute Siebporen und ähneln so theils den engeren Bastgefässen von Pteris, theils jenen der Lycopodien. Die dritte, bald mehr, bald minder deutlich entwickelte Zellenform nimmt ihre Stellung nach aussen von den Siebröhren, und zwar bisweilen in unmittelbarer Berührung mit denselben oder etwas zwischen sie eingeschoben, nahe gegen die in der Regel durch eine Parenchymzellenreihe von ihnen getrennte, aus dünnwandigen, radial zusammengedrückten, später sich bräunenden Zellen bestehende Gefässbündelscheide, wo sie entweder eine nahezu ununterbrochene Reihe oder Gruppen von einer grösseren oder kleineren Anzahl von Zellen bildet (Fig. 241, I, *Bf*). Auf dem Querschnitte geben sich dieselben durch ihr enges Lumen und die stärkere, in höherem Alter hell- bis dunkelgelb gefärbte, secundäre Verdickung zu erkennen, während sie auf dem Längsschnitte sowohl als bei den Macerationsproducten entschiedene Faserform zeigen (Fig. 241, II, *Bf*), welche für manche Baumfarne insofern etwas Eigenthümliches hat, als sich von Strecke zu Strecke tonnenförmig erweiterte Stellen finden. Wir haben in denselben somit die Faserzellen des Bastbündels, d. h. die Bastfasern, vor uns.

In dem Wedelstiele mancher tropischen (Cyathea, Asplenium) und einzelner unserer einheimischen Farnkräuter (Osmunda, hier und da auch Pteris) lassen sich Stränge von eigenthümlich ausgebildeten, parenchymatischen Zellen beobachten (Fig. 242, a. f. S.), welche wahrscheinlich zur Aufnahme von Absonderungsproducten bestimmt und den Harz-, Gummi- und Milchsaftgängen der Phanerogamen an die Seite zu stellen

Digitized by Google

sein dürften. Dieselben treten entweder einzeln, oder — bei länger gedehnten, auf dem Querschnitte bandartigen Gefässbündeln (Osmunda) — zu mehreren an der nach innen gewendeten Seite des Gefässbündels auf.

Fig. 242.



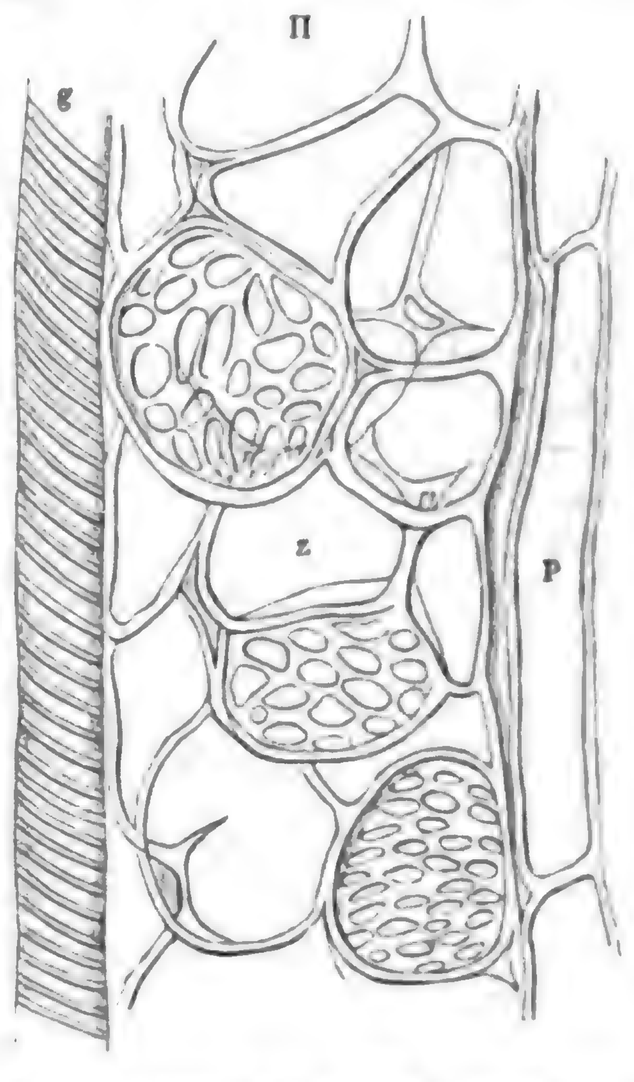


Fig. 242. I Quer-, II Längsschnitt durch einen Zellengang (z) von Osmunda regalis. g Gefässe, p Parenchym des Zwischengewebes. Vergr. 1 : 250.

Die an der Zusammensetzung Theil nehmenden Zellen sind meist unregelmässig polyëdrisch oder rundlich, von weitem Lumen, hier und da mit einer gelblichen, ölartigen bis harzigen Masse angefüllt und besitzen entweder eine nur wenig verdickte oder eine etwas stärker verdickte Zellstoffhülle mit porösen oder netzförmigen Verdickungsschichten.

d) Gefässbündel der Rhizocarpeen.

Das der concentrischen Form angehörende Gefässbündel der Gattung Marsilea ist in Stengel und Wedelstiel in verschiedener Gestalt gebaut. In dem ersteren erscheint dasselbe auf dem Querschnitt unter der Form eines Ringes, welcher einen centralen Cylinder von sehr dickwandigen, braun gefärbten Faserzellen umgiebt und durch eine aus einer Lage in tangentialer Richtung gestreckten Parenchymzellen gebildeten Scheide von dem Grundgewebe und dem centralen Cylinder getrennt ist (Fig. 243). Der Holztheil tritt ebenfalls unter der Form eines Ringes auf, der nur an einer Seite durch einen schmalen Streifen des Bastparenchyms unterbrochen ist, welcher das auf der Innen- und

Digitized by Google

Aussenseite um den Holztheil gelagerte Bastgewebe verbindet. In dem Wedelstiele dagegen ist das Gefässbündel ein im wahren Sinne des Wortes centrales, indem die ganze Mitte davon eingenommen wird. Der Holztheil bildet hier zwei allseitig von Basttheilen umgebene, und solcherweise von einander getrennte, halbmondförmige Bänder, welche divergirend mit den convexen Seiten einander zugewendet sind.

Fig. 243.

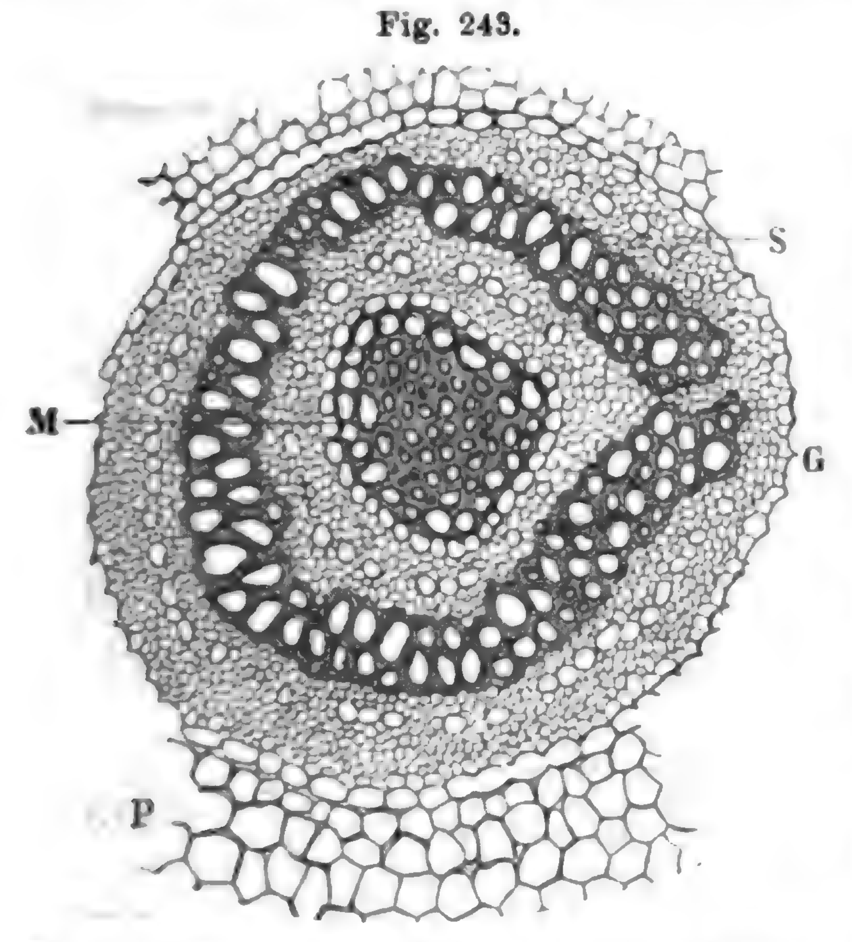


Fig. 243. Querschnitt durch das Gefässbündel von Marsilea sp. *PP* zartwandiges Parenchym, *S* Gefässbündelscheide, *G* Gefässbündel, *M* centraler Strang verdickter Zellen (Mark). Vergrösserung 1 : 100.

Der Holztheil besteht aus sehr dickwandigen Gefässzellen, welche an den ältesten Stellen desselben, wo sie zugleich sehr enge sind, die ring- und spiralförmige, in den jüngeren Theilen aber, wo sie nach und nach weiter werden — und im Wedelstiele sogar ganz bedeutende Dimensionen annehmen — die treppenförmige Verdickung mit sehr engen Porencanälen und kleinen Höfen beobachten lassen. Nur hier und da findet sich einmal eine langgestreckte Parenchymzelle den Gefässzellen eingestreut, in der Regel nimmt das wenig Stärke führende Holzparenchym seine Stellung in der unmittelbaren Umgebung der Gefässzellenbänder (Fig. 244, a. f. S.).

Der Basttheil des Gefässbündels wird dagegen aus den drei bekannten Zellenformen gebildet. Die Hauptmasse wird von ziemlich regelmässigem, Stärke führendem Bastparenchym gebildet, welchem eine mehr oder minder grosse Zahl von meist einzeln stehenden weiteren, sich auf dem Längsschnitte als die Siebröhren zu erkennen gebenden Zellen eingestreut ist. In ihrer Structur stimmen die letzteren annähernd mit jenen der Equiseten überein. Die Querwände sind in der Regel mehr oder weniger geneigt und von feinen Poren siebförmig durchbrochen. Die Längswände dagegen erscheinen meist glatt; nur in einzelnen Fällen beobachtet man auf denselben die charakteristischen Siebporen (Fig. 244, II. *Bg*). Als dritte Zellenform treten Faserzellen mit nicht gerade sehr bedeutend verdickten Wänden auf, welche sich indessen auch auf dem Querschnitte durch die geringen Dimensionen bemerklich machen. Dieselben stehen in dem Stengel meist in einer Reihe an dem Umfange des

Digitized by Google

Gefässbündels, und finden sich in dem Wedelstiele in einzelnen grösseren oder kleineren Gruppen beisammen (Fig. 244, I, *Bf*).

Zu den Untersuchungen über den Bau und die Zusammensetzung des Gefässbündels der höheren Kryptogamen bedarf man zunächst zarter, womöglich den vollen Umfang des ersteren umfassender Quer-, dann in verschiedener Richtung durch verschiedene Stellen geführter Längsschnitte, welche unter Umständen zur schärferen Kennzeichnung der unverholzten

Fig. 244.

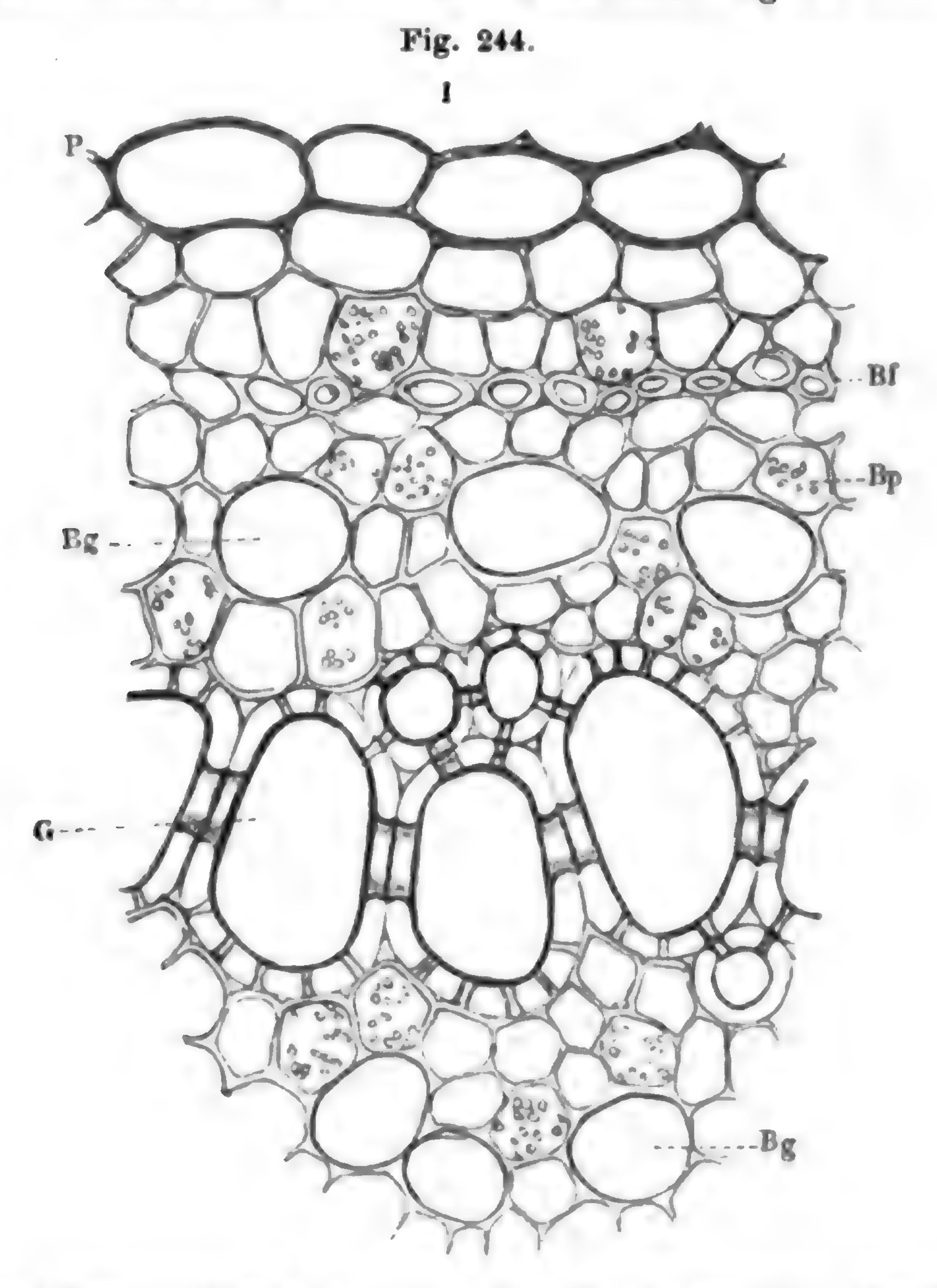


Fig. 244. I Querschnitt durch das Gefässbündel von Marsilea quadrifolia. Vergr. 1 : 400.

und verholzten Elemente den schon früher erwähnten Doppelfärbungen zu unterwerfen sind. Macerationsproducte, welche man entweder mittelst des Schultz'schen Macerationsgemisches herstellen oder auch leicht durch Fäulniss der aus dem Parenchym herausgelösten Gefässbündel erlangen kann, gewähren eine wesentliche Unterstützung für die genauere Kenntniss der verschiedenen, an dem Aufbau des Gefässbündels betheiligten Zellenformen und die bei denselben auftretende Verdickungsweise; ausserdem belehren sie bei gehöriger Vorsicht in der

Digitized by Google

Fig. 244.

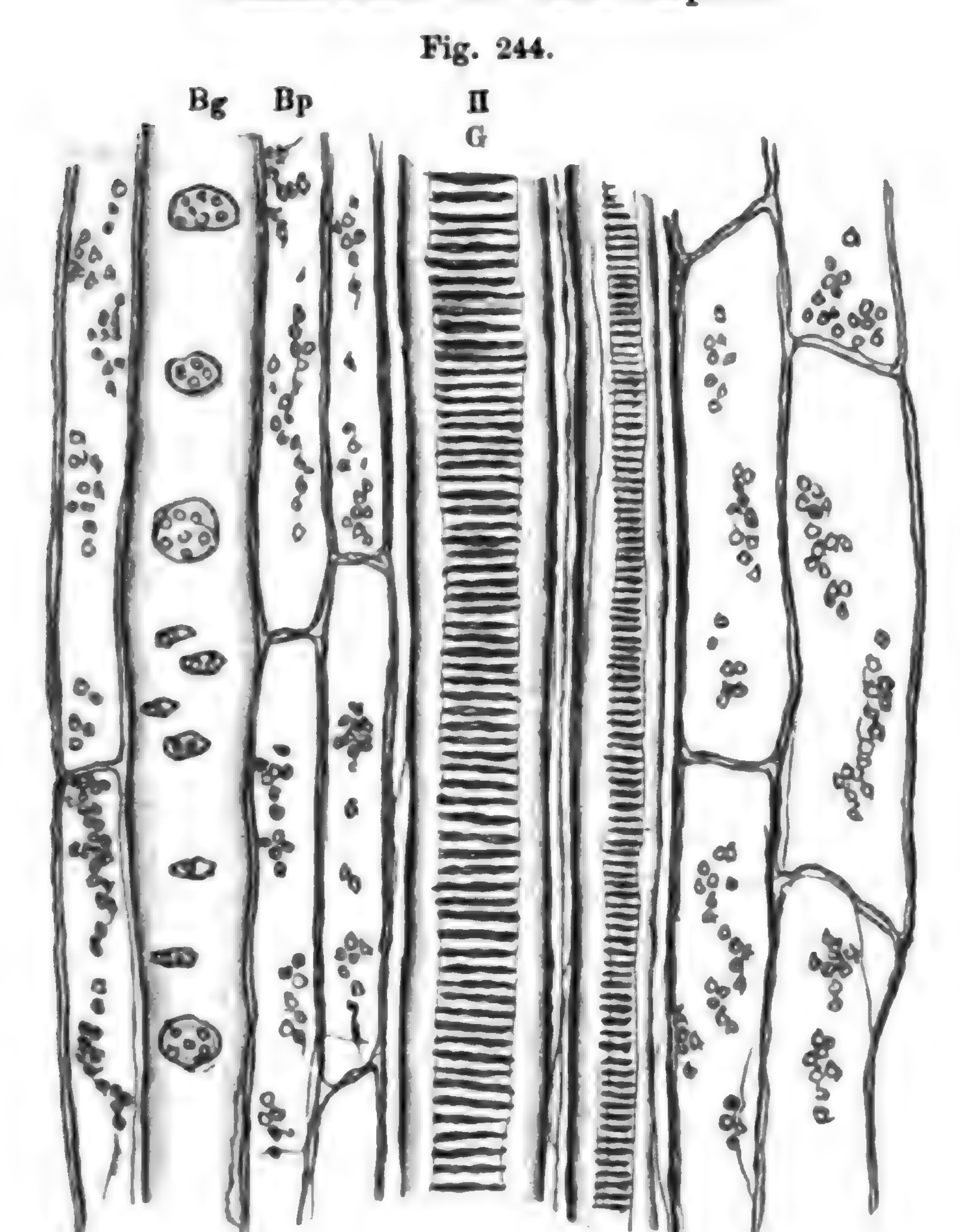


Fig. 244. II Längsschnitt durch das Gefässbündel von Marsilea quadrifolia. Vergr. 1 : 400.

Beobachtung in sicherer Weise über die Verbindung der Röhrenzellen unter einander.

G. v. Mohl: Ueber den Bau des Farnstammes. Vermischte Schriften 1846, S. 108.

Derselbe: Ueber den Bau des Stammes von Isoetes lacustris. Vermischte Schriften, S. 122.

Schleiden: Grundzüge. 3. Aufl. Bd. I, S. 255, und auch Bd. II.

Schacht: Lehrbuch der Anatomie und Physiologie. Bd. I, S. 313 u. f.

Unger: Anatomie und Physiologie der Pflanzen. S. 215.

Dippel: Ueber die Zusammensetzung des Gefässbündels der Kryptogamen. Amtlicher Bericht der Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte zu Giessen. S. 142.

De Bary: Vergleichende Anatomie der Vegetationsorgane der Phanerogamen und Farne. 1877.

Tschirch: Angewandte Pflanzenanatomie. 1889.

Ferner die ausführlicheren Lehrbücher der Botanik.

Digitized by Google

3. Gefässbündel der Monokotyledonen.

Das Gefässbündel des Stammes der Monokotyledonen besteht in vollkommen ausgebildetem Zustande aus den drei bekannten Zellenarten, welche an der Zusammensetzung von Holz- und Basttheilen theilnehmen. Dasselbe entsteht aus einem Cambium, aus welchem von der Mitte des betreffenden Stranges aus entweder nach zwei Seiten hin verschiedene Elemente, und zwar nach der einen solche des Basttheiles, nach der anderen solche des Holztheiles ihren Ursprung nehmen, oder aus dem in dem Umfange des Bündels jene des ersteren, nach innen aber jene des letzteren entwickelt werden. In späteren Entwickelungszuständen nimmt das Cambium zwischen den ausgebildeten Elementen entweder etwa die Mitte oder einen schmalen Ring zwischen Holz- und Basttheil des Gefässbündels ein und verschwindet mit Ablauf der Entwickelungsperiode als solches vollständig, indem es in parenchymatisches Dauergewebe, das Cambiform, umgewandelt erscheint.

Abgesehen von den unvollständig ausgebildeten Gefässbündeln, von denen die einen (Najas und Caulinia) nur aus dünnwandigen, gestreckten Zellen, die anderen (Rindenbündel) nur aus Bastfasern oder aus Bastgefässen (Siebröhren) und gestrecktem Parenchym bestehen, finden sich bei dem hier zu betrachtenden Gefässbündel mannigfache Abänderungen in Bezug auf die Entwickelung der einzelnen Elementartheile sowohl, als auf deren Stellung zu einander. So entstehen in dem ersten, oben betrachteten Falle die am weitesten verbreiteten, collateralen (Fig. 245 bis 254), im anderen die bei gewissen Rhizomen vorkommenden concentrischen Bündel (Fig. 255), wobei indessen, wie wir weiter unten sehen werden, Uebergänge von den ersteren zu den letzteren zu beobachten sind, indem aus der collateralen Stellung der Holztheil allmälig mehr und mehr über den Basttheil übergreift, bis er denselben ganz umfasst.

Betrachten wir die Elementarorgane des Gefässbündels, welche sowohl an Schnittpräparaten, als im durch Maceration isolirten Zustande zu beobachten sind, etwas näher, so treffen wir zunächst auf zwei Modificationen von Faserzellen: Holzfasern und Bastfasern. Die Holzfasern nehmen die nach innen, d. h. nach dem Mittelpunkte des Stengels gewendete Seite des Gefässbündels ein (Fig. 245, I, *Hf*). Sie sind bald stärker, bald minder stark verdickt, stets verholzt und lassen zerstreut stehende, wenig zahlreiche, schwach behöfte, länglichrunde Poren beobachten (Fig. 245, II, *Hf*). Die Querscheidewände stehen in der Regel nur wenig geneigt, selten findet man Zellen mit so scharf zugespitzten Enden, wie sie die Holzzellen der Dikotyledonen besitzen. Die Holzfaser der Monokotyledonen steht demnach hier und da dem langgestreckten Parenchym ziemlich nahe und unterscheidet sich, wenn sie nur wenig

Digitized by Google

verdickt erscheint, von diesem nur durch ihren den Querdurchmesser sehr bedeutend überwiegenden Längsdurchmesser. Die Bastfasern nehmen ihren Platz an der nach der Peripherie des Stengels gewendeten Seite des Gefässbündels (Fig. 245, I, *Bf*). Im Ganzen sind dieselben den

Fig. 245.

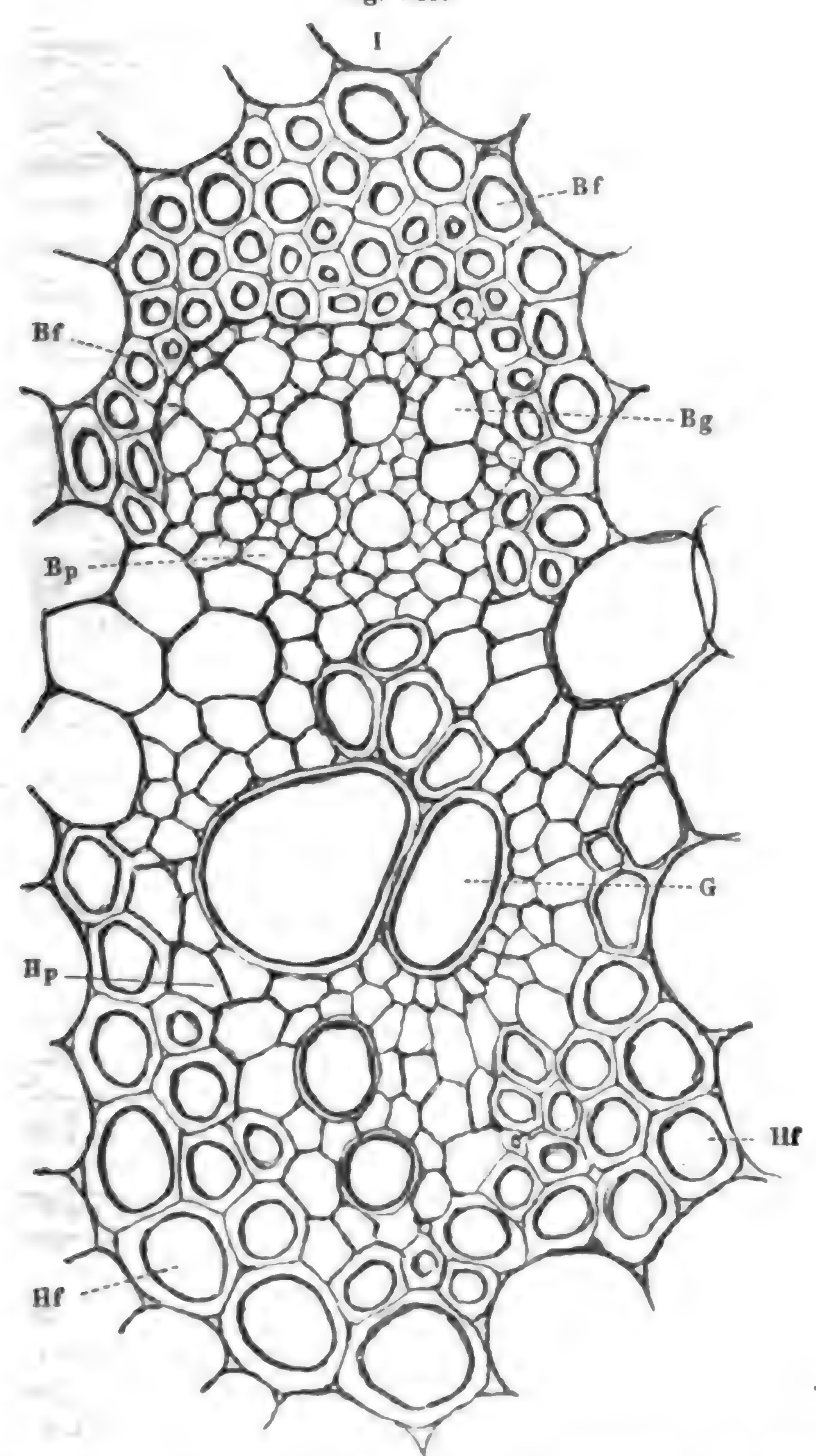


Fig. 245. I Quer-, II Längsschnitt durch das Gefässbündel von Strelitzia reginae als allgemeiner Typus des monokotyledonen Gefässbündels. Vergr. 1 : 400.

Digitized by Google

Holzfasern ähnlich gebaut, zeichnen sich aber im Allgemeinen durch eine schärfer ausgesprochene Zuspitzung der Enden vor diesen aus. Häufig treten sie, wie diese, mit nur gering verdickten Zellwänden auf. In der Mehrzahl der Fälle sind sie jedoch stark — und dann gewöhnlich

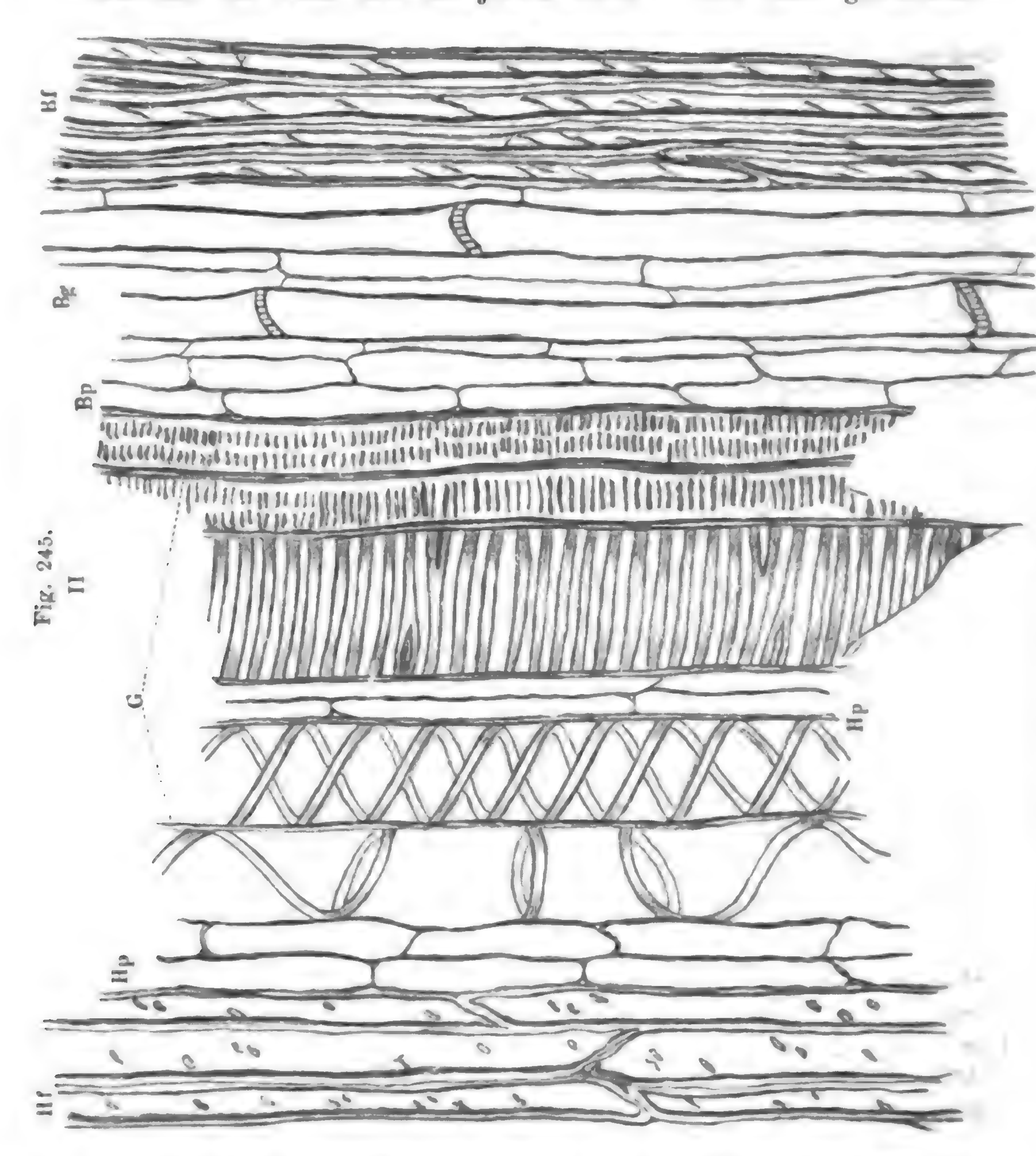


Fig. 245. II

stärker, als die Holzfasern des gleichen Gefässbündels — verdickt. Ihre secundären Verdickungsschichten zeigen eine mehr oder minder deutliche Schichtung und werden von zahlreichen, spaltenförmigen, feinen Poren durchsetzt (Fig. 245, II, *Bf*). Hier und da finden sich auch mehr complicirte Verdickungsweisen (Calamus, Caryota urens etc.), worauf schon weiter oben hingewiesen worden ist.

Digitized by Google

Die **Röhrenzellen** oder Gefässzellen des Holztheiles (Fig. 245, I u. II, *G*) bestehen aus Ringgefässen, Spiralgefässen, netzförmigen Gefässen und porösen Gefässen, wobei letztere da, wo sie an gleiche Elemente grenzen, fast immer behöfte Poren mit quer spaltenförmigem Porencanal zeigen. Die einzelnen Röhrenzellen, welche bei den beiden ersten Gefässarten von grösserer, bei den letzteren von minder grosser Länge sind, münden bald durch einen grossen Poren in einander und man erkennt dann die Gliederung an dem verdickten Rande des letzteren, der entweder horizontal oder nur wenig geneigt steht, oder es tritt die schon früher mehrfach erwähnte leiterförmige Durchbrechung der Querscheidewände auf. Erstere Structur wird man namentlich bei den Ring- und Spiralgefässen, sowie bei den mit runden Poren versehenen Gefässen antreffen, während die andere vorzugsweise bei den netzförmigen und spaltenförmig-porösen (Treppen-)Gefässen auftritt.

In Bezug auf das gegenseitige Verhältniss der verschiedenen Gefässarten ist es durchgreifendes Gesetz, dass die zuerst entstandenen, meist engeren Gefässe den drei ersten, die jüngeren, weiteren dagegen den beiden anderen Verdickungsformen angehören. Nur bei einzelnen Arten aus den Familien der Gräser und Musaceen sind hier und da sämmtliche Gefässe Ring- oder Spiralgefässe (Musa, Canna, hier und da auch Phragmites).

Die **Baströhren, Siebröhren, Bastgefässe**, welche früher sammt den mit ihnen zusammen vorkommenden gestreckten Parenchymzellen als **Vasa propria** (v. Mohl) oder als **Dauercambium** (**Schacht**) bezeichnet wurden, sind ihrer Structur nach zuerst von H. v. **Mohl** erkannt und (wie die Baströhren der Dikotyledonen) **Gitterzellen** benannt worden. Sie nehmen bei den collateralen Bündeln in radialer Richtung ihre Stelle zwischen dem die Gefässe des Holztheiles umgebenden Parenchym und den Bastfasern (Fig. 245, I u. II, *Bg*), bei den concentrischen in der Mitte des Stranges, und bilden sammt den zwischen ihnen vorkommenden Parenchymzellen (Cambiform der Autoren), mit denen sie bald in bestimmter Ordnung (Musa), bald in mehr unregelmässiger Weise wechseln, eine leicht erkennbare, zartwandige Partie des Gefässbündels. Ihre Querscheidewände sind entweder vollständig horizontal oder nur wenig geneigt, in der früher geschilderten Weise eigenthümlich verdickt, und besitzen weitere oder engere, runde oder polygonale Poren (Siebporen) (Fig. 245, II, *Bg*). Seltener (einige Palmen) findet man stark geneigte Querwände, welche in die Länge gezogene, siebförmig durchbrochene Poren zeigen. Die Seitenwände sind meistens glatt, hier und da jedoch, und zwar, so viel ich aus meinen eigenen Untersuchungen schliessen darf, nur da, wo sie mit gleichen Elementarorganen verwachsen sind, erscheinen auf denselben auch runde oder ovale Gitterporen (Musa Calamus, Asparagus, Canna, ebenso Palmen etc.).

Ausser diesen in der Mitte des Gefässbündels stehenden Baströhren finden sich bei einzelnen Gattungen, namentlich aus der Familie der Lilia-

Digitized by Google

ceen (Allium), der Musaceen (Musa), der Aroideen (Caladium, Xanthosoma, Scindapsus, Arum u. a.), ausserhalb des Gefässbündels, aber immer entweder in seiner unmittelbaren Umgebung (Fig. 252, S. 378), oder an der Stelle der kleinen Bastbündel (Allium), nahe unter der Rinde stehende weitere Röhrenzellen, mit gegitterten Quer- und hier und da auch Längsscheidewänden, die einen eigenthümlichen, an der Luft sich oft roth färbenden Saft (Milchsaft) führen und früher als eine eigene Art von Elementarorganen, „Milchsaftgefässe“, betrachtet wurden. Ich habe seiner Zeit durch umfangreiche Arbeiten nachgewiesen, dass diese Elementarorgane des Gefässbündels mehr oder weniger in ihrer Structur mit den Baströhren übereinstimmen.

Fig. 246.

Fig. 246. Querschnitt durch das Gefässbündel des Blattes von Gladiolus segetum. Vergr. 1 : 400.

Die Parenchymzellen (Fig. 245, I u. II, *Bp* u. *Hp*, S. 369 und 370) kommen sowohl in dem Holztheile, als in dem Basttheile des Gefässbündels vor und sind in der Regel langgestreckt, ja oft so sehr in die Länge gedehnt, dass sie sich den Faserzellen mehr oder minder nähern. Sie zeichnen sich indessen immer dadurch aus, dass sie horizontale oder doch nahezu horizontale Querscheidewände besitzen und dass sie gar nicht oder nicht so stark verholzen wie jene. In dem Holztheile umgeben dieselben zunächst die Gefässe, in dem Basttheile nehmen sie ihren Platz zwischen den Siebröhren, von denen sie sich auch auf dem Querschnitte meist schon

Digitized by Google

durch ihr geringeres Lumen unterscheiden (Fig. 245, I, *Bp*, S. 369). Ihre Seitenwände sind entweder völlig glatt (im Baste) oder sparsam und fein porös. Wo dieselben an Gefässe angrenzen, finden sich grössere flache Poren, welche in ihrer Grösse dem Hofe der kleinen Poren jener entsprechen. Was den Inhalt dieser Zellenart angeht, so glaube ich, dass er zu einer gewissen Zeit aus Stärkemehl bestehen dürfte. Umfangreichere entscheidende Beobachtungen stehen mir nicht zu Gebote, indessen habe ich hier und da wohl Stärke in den Parenchymzellen des Basttheiles sowohl als des Holztheiles gefunden (Musa).

Im Allgemeinen giebt sich der Bau des collateralen, monokotyledonen Gefässbündels, mit Rücksicht auf die Anordnung seiner Elementarorgane, aus der Beobachtung von Quer- und Längsschnitt folgendermaassen zu erkennen. Die beiden Enden des radialen Durchmessers werden von Faserzellenbündeln eingenommen, und zwar erscheint nach der Rindenseite hin das Bastfaserbündel, nach der Markseite hin das Holzfaserbündel, ohne dass diesen andere Elemente beigemengt wären. Nach

Fig. 247.

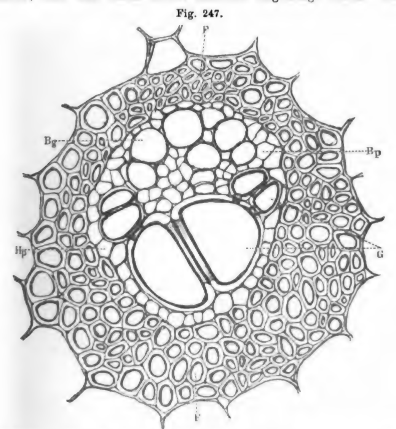


Fig. 247. Querschnitt durch ein äusseres Gefässbündel des Stengels von Alpinia nutans. Vergrösserung 1 : 400.

Digitized by Google

innen von dem Bastfaserbündel liegen die Bastgefässe, untermengt mit Bastparenchymzellen, innerhalb des Holzfaserbündels die Röhrenzellen (Gefässe, Gefässzellen), theils umgeben von, theils untermengt mit Holzparenchymzellen (Fig. 246, S. 372). Hier und da treten (ein Verhältniss, dem wir auch bei den isolirten Gefässbündeln der Dikotyledonen begegnen werden) die Elemente der Holz- und Bastfaserbündel durch schmälere oder breitere Stränge von Faserzellen mit einander in directe Verbindung, so dass sie einen geschlossenen, die übrigen Bestandtheile des Gefässbündels einschliessenden Kreis bilden, so z. B. bei Papyrus, bei den äusseren Gefässbündeln von Alpinia u. s. w. (Fig. 247, a. v. S.).

Am vollkommensten ausgeprägt ist der Typus des collateralen, monokotyledonen Gefässbündels in den den Blättern angehörigen und zu den Blättern abgehenden, auf dem Querschnitt ausserhalb des Verdickungsringes erscheinenden Gefässbündeln vieler hierher gehöriger Gewächse (Gladiolus, Iris, Phornium, Alpinia etc.) (Fig. 246 und 247). Es nähert

Fig. 248.

Bf
Bp
Bg
g''
Hf
g'
Hp

Fig. 248. Querschnitt durch das Gefässbündel von Saccharum officinarum. g^{I} Spiralgefässe, g^{II} poröse Gefässe. Vergr. 1 : 360.

Digitized by Google

sich in dieser Form, in der sämmtliche Elemente scharf ausgeprägt erscheinen, zugleich am meisten dem isolirten, dikotyledonen Gefässbündel, wie wir es bei vielen krautartigen Pflanzen — in der Jugend immer, hier und da aber auch während des Lebens — antreffen. In etwas anderer Form tritt das Gefässbündel im Inneren des Stammes und auch bisweilen in den Blättern auf, wo Holz- und Basttheil zwar noch in vollkommener Weise und in ihren Theilen ziemlich gleichmässig ausgebildet sind, dagegen die Stellung des Holztheiles, insbesondere der Gefässe zu dem Basttheile, von dem oben geschilderten Typus etwas abweicht.

In dem Gefässbündel der Gräser (Fig. 248) stehen die jüngsten, weiten, porösen Gefässe meist zu beiden Seiten des Gefässbündels, so dass sie die Parenchymzellen des Holztheiles nebst einigen engeren Gefässen von beiden Seiten einschliessen; etwas nach hinten (innen) gerückt stehen dann noch zwei, drei oder mehrere gewöhnlich engere, bei manchen

Fig. 249.

Fig. 249. Querschnitt durch ein Gefässbündel von Scheelea sp. (Karsten). *H* Holztheil, aus mässig dünnwandigen, parenchymatischen und faserartigen Zellen bestehend. *P* Stengelparenchym. Sonstige Bezeichnung wie oben. Vergr. 1 : 100.

Digitized by Google

Gräsern jedoch noch ziemlich weite Spiral- und Ringgefässe in einer Reihe. Bastgefässe und Bastparenchym bilden zusammen einen auf dem Querschnitte halbrunden bis (hier und da) runden Strang, welcher von dem ziemlich stark entwickelten Bastfaserbündel nach aussen begrenzt, oder, indem es auch über die beiden weiten Gefässe hinübergreift, umschlossen wird.

Die Palmen zeigen entweder in der Mitte des Gefässbündels ein bis drei grössere, bisweilen nach beiden Seiten auswärts von einigen weit engeren begleitete Gefässe, hinter denen einige engere Spiralgefässe stehen (Fig. 249, a. v. S.), oder es folgen auf eine Gruppe von engen Spiralgefässen nach dem Basttheil hin eine grössere Anzahl von allmälig weiter werdenden, meist leiterförmig porösen Gefässen, welche, mit mehr oder

Fig. 250.

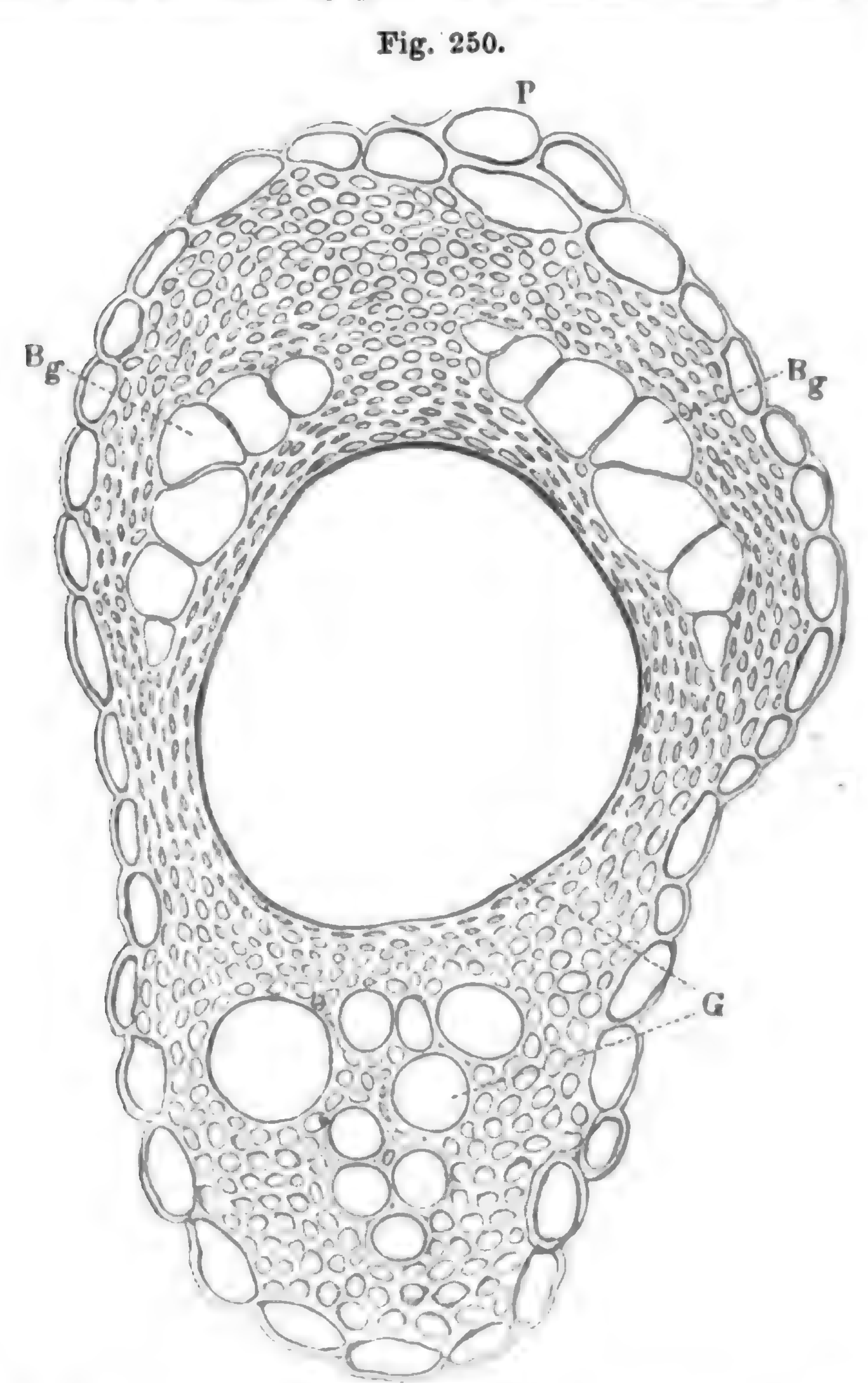


Fig. 250. Querschnitt durch das Gefässbündel von Calamus Rotang. Vergr. 1 : 120.

Digitized by Google

weniger Parenchymzellen untermengt, bald eine einfache, bald eine halbmondförmige bis offen keilförmige Gruppe bilden, wie im Stamme von Chamaedorea. Die Holzfasern sind in der Regel nur schwach verdickt und in geringer Anzahl vorhanden. Das Bastfaserbündel, dessen Elemente meist eine sehr starke Verdickung besitzen, zeigt bald eine massenhaft überwiegende Entwickelung (Fig. 249, S. 375), bald umfasst es — wie z. B. im Stamme der Chamaedoreaarten — nur eine geringere Menge von weitlumigeren, massiger bis wenig verdickten, öfter nicht oder nicht vollständig verholzten Elementen. Die Bastgefässe sammt dem Bastparenchym stehen dicht über den weiten Gefässen (Fig. 249, *Bg*), und zwar sind dieselben nicht selten durch einen dazwischen tretenden

Fig. 251.

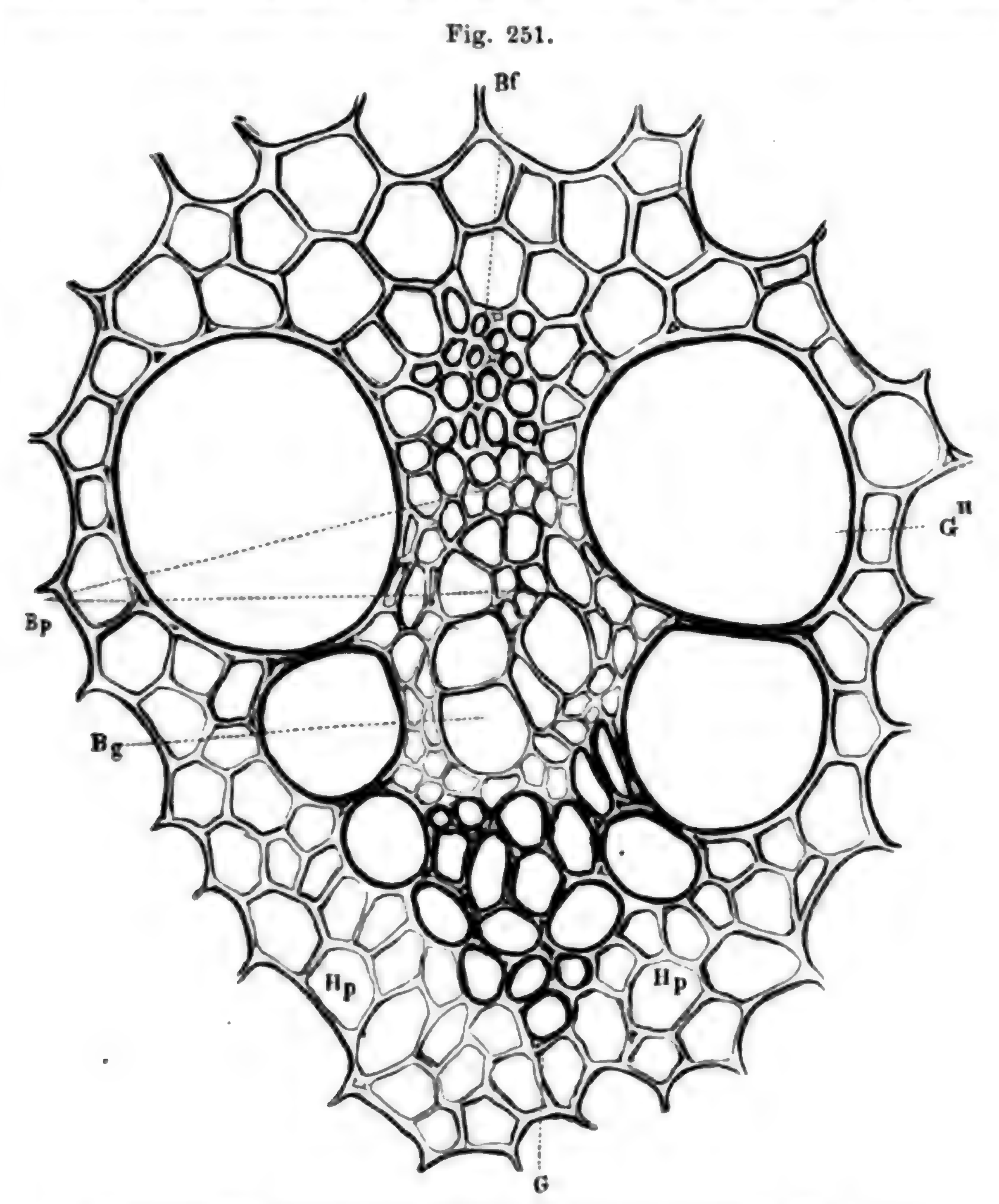


Fig. 251. Querschnitt durch das Gefässbündel von Asparagus officinalis. Vergr. 1 : 360.

Digitized by Google

Parenchymstreifen in zwei Gruppen gesondert. Bei Calamus Rotang (Fig. 250, S. 376) erleidet diese Anordnung der Elementarorgane eine bedeutende Abweichung, indem die Mitte des sonst nur gleichartige, stark verdickte, englumige Zellen zeigenden Gefässbündels von einem sehr weiten Gefässe eingenommen wird, hinter dem sich eines oder einige kleinere Spiralgefässe finden, während zu dessen beiden Seiten und etwas nach oben gerückt die dünnwandigen Elemente — wohl nur Siebröhren — des Basttheiles stehen (Fig. 250, *Bg*).

Eine andere Reihe von Pflanzen zeigt in den inneren Bündeln des Stengels die Bast- und Holzfasern mit so schwacher secundärer Verdickung, dass dieselben bei weitem Lumen auf dem Querschnitte von den umgebenden Parenchymzellen fast gar nicht zu unterscheiden sind (Tradescantia, Lilium, Caladium, Asparagus, Fig. 251, a. v. S.), oder in so beschränkter Anzahl, dass sie nur ein- oder zweireihige, nach der Mitte des Gefässbündels geöffnete, halbmondförmige oder (namentlich im Holztheile) keilförmige Lagen meist ziemlich schwach verdickter Faserzellen bilden (Musaceen). In Bezug auf die Stellung der Gefässe zu den übrigen Elementen des Gefässbündels finden sich hier ebenfalls mehrere Modificationen. Erstlich bilden jene einen geschlossenen Halbmond, so dass dessen beide, oft bis zu dem Bündel der Bastfasern hinaufgerückten Spitzen von zwei besonders weiten, porösen Gefässen eingenommen werden (Fig. 251, G''), zwischen denen die ziemlich zahlreichen, nach und nach enger werdenden, theils porösen, theils spiralförmigen oder ringförmigen Gefässe die Verbindung bilden. Zweitens finden sich

Fig. 252.

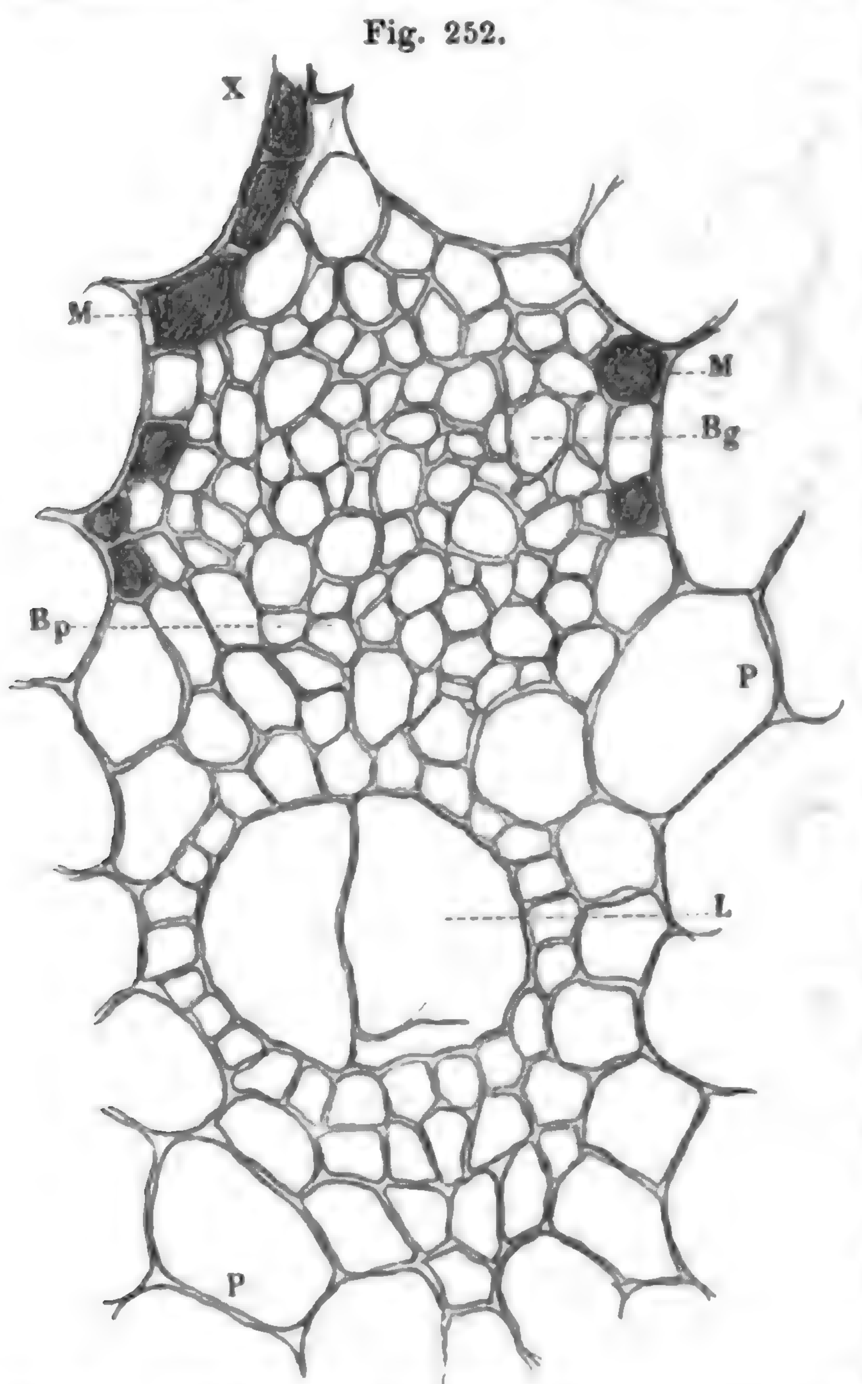


Fig. 252. Querschnitt durch ein Gefässbündel von Xanthosoma violaceum. Vergr. 1 : 620.

Digitized by Google

in dem Holzbündel eines oder zwei auffallend grosse Spiralgefässe, denen sich, in der Längsachse des Gefässbündels stehend, nach der Bastseite hin engere Spiralgefässe, gegen das Holzfaserbündel hin engere ringförmige Gefässe anschliessen (Musa, Strelitzia, Canna, Fig. 245, S. 369), wodurch das Gefässbündel eine stark in der radialen Richtung des Stengels gestreckte, zwischen Holz- und Basttheil eingeschnürte Form annimmt. Drittens tritt in dem Holztheile des Gefässbündels ein weiter, oft durch Resorption eines oder zweier grosser Spiralgefässe entstandener Luftgang auf, vor welchem sich einige engere Spiralgefässe beobachten lassen, die hier und da durch eine oder einige Lagen Parenchymzellen von der ziemlich massig entwickelten Bastgefässgruppe geschieden werden (Caladium, Xanthosoma, Fig. 252).

Fig. 253.

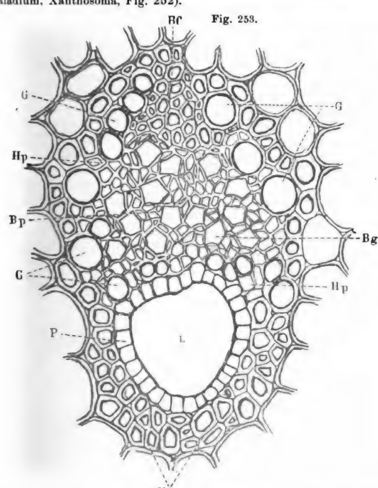


Fig. 253. Querschnitt durch das Gefässbündel von Alisma Plantago. *L* Luftgang, welcher von zarten Parenchymzellen *P* umgeben wird.

Digitized by Google

Die grösste, nach dem concentrischen überführende Abweichung von dem allgemeinen Typus der collateralen Anordnung der verschiedenen Elementarorgane findet sich bei Alisma Plantago (Fig. 253, a. v. S.). Hier steht nämlich an der inneren Seite des Gefässbündels ein weiter Luftgang (*L*), der ringsum von zartwandigen, gestreckten, immer unverholzten Parenchymzellen umgeben und dann durch einen ein- bis zwei-, oft dreireihigen Halbmond stark verdickter Holzfasern von dem Parenchym des Zwischengewebes abgeschlossen wird. Die Gefässe *G G* stehen nach der Rindenseite hin, zum Theil an die den Luftgang umgebenden Parenchymzellen angrenzend, zum Theil in zwei nach aussen offenen Kreisbogen den inneren Theil und theilweise auch die Fasergruppe des Bastbündels umfassend. Das letztere ist gleichsam ankerförmig gebaut. Der äussere, halbkreisförmige, nur aus Bastfasern gebildete Theil umlagert die Gefässe des Holzbündels und setzt sich dann von dem mittleren Theile des Bogens aus durch einen schmäleren, zwei bis drei und mehr Zellenreihen enthaltenden Isthmus in das die mit einem kleinzelligen, mässig verdickten Parenchym wechselnden Baströhren (Siebröhren) enthaltende Innere des Gefässbündels fort, wo es sich weiter ausdehnt (Fig. 253, *Bf*, *Bp* und *Bg*). Bei den im Inneren des Stengels liegenden Bündeln bestehen diese aus eigenthümlich gruppirten, dünnwandigen Zellen, von denen die einen mit weiterem Lumen den gleichen Elementarorganen von Musa u. s. w. entsprechen, die mit engerem Lumen das gestreckte Bastparenchym vorstellen. In den der Rinde zunächst gelegenen Bündeln sind die letzteren Elemente oft bis zum gänzlichen Verschwinden vermindert.

Fig. 254.

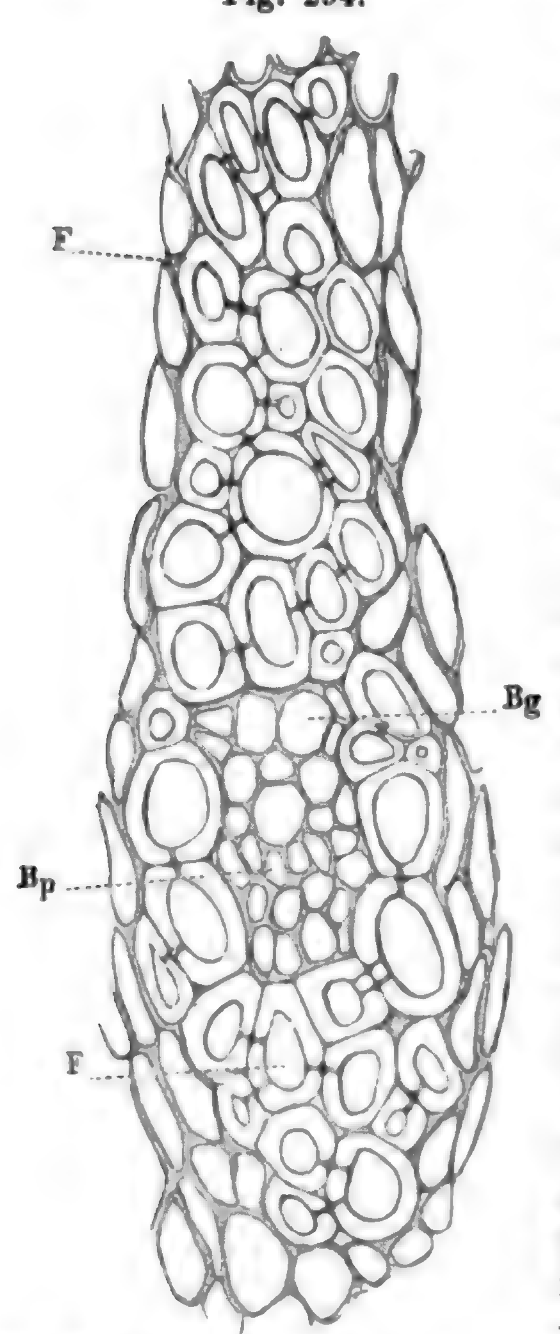


Fig. 254. Querschnitt durch ein äusseres Gefässbündel von Dracaena Draco. *F* Faserzellen; die übrige Bezeichnung wie oben. Vergr. 1 : 200.

Bei den Dracaenen tritt in den inneren Gefässbündeln, wo die Holzgefässe einen geschlossenen Halbmond bilden, das Holzparenchym zwischen diese und die ebenfalls halbmondförmigen Holzfaserbündel; von den Gefässen aus nach der Rindenseite erscheinen eine meist geringe Anzahl von Bastgefässen, untermengt mit Bastparenchym, und hierauf folgt das ziemlich massige Bastfaserbündel. In den äusseren, in radialer Richtung stark in die Länge gestreckten Bündeln, wo die Gefässe sowie das

Digitized by Google

Parenchym des Holzes fehlen, nehmen die zartwandigen Elemente des Bastes ziemlich die Mitte des aus einem geschlossenen Ringe von Faserzellen bestehenden Gefässbündels ein (Fig. 254, *Bg* u. *Bp*), so dass sich dieselben den concentrischen Bündeln anreihen.

Fig. 255.

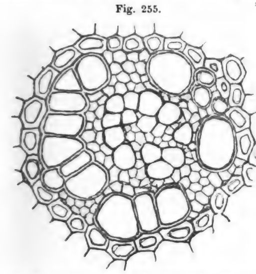


Fig. 255. Querschnitt durch das Gefässbündel des Wurzelstockes von Carex arenaria. Vergr. 1 : 500.

Fig. 256.

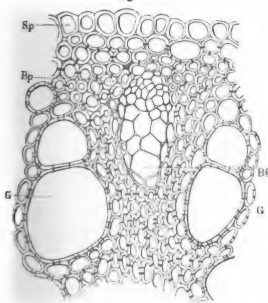


Fig. 256. Theil eines Querschnittes aus der Wurzel von Smilax spec. *Sp* Parenchym der Wurzelscheide. Sonst Bezeichnung wie vorher. Vergr. 1 : 200.

In dem concentrischen Gefässbündel, welches sich in den Wurzelstöcken mancher Cyperaceen (Cyperus Papyrus, Carex arenaria), von Iris germanica, Acorus Calamus, verbreitet findet, wird der die Mitte des Stranges einnehmende, aus Siebröhren und Bastparenchym zusammengesetzte Basttheil von dem Holztheile umgeben, welcher aus einer einfachen, seltener doppelten Reihe von dicht an einander grenzenden, oder durch Holzparenchym von einander getrennten, theils spiralig (die engsten), theils netzförmig und porös verdickten Gefässen gebildet wird, und entweder an dünnwandiges Grundgewebe (Acorus), oder an einen Ring faserartiger, verdickter und verholzter Zellen grenzt (Carex, Fig. 255).

In den Wurzeln tritt jenes eigenthümliche Verhältniss in der Stellung der beiden Bestandtheile des Gefäss-

Digitized by Google

bündels auf, welche die als radiale bezeichnete Form bedingt. Hier nimmt nämlich das aus — nach innen liegenden — Bastgefässen und — nach aussen gerücktem — Bastparenchym zusammengesetzte, meist elliptische Bastbündel seinen Platz zwischen den radienartig gestellten Reihen der Holzgefässe in einem bald mehr zartwandigen, bald dickwandigeren, holzartigen Zwischengewebe aus faserartigen Zellen, welches allmälig in das dünnwandige, weitzellige Grundgewebe, beziehentlich das Gewebe des Markes übergeht (Fig. 256, a. v. S.).

Für die Untersuchung des fertigen monokotyledonen Gefässbündels bedarf es ganz derselben Präparate, wie solche bei der vorhergehenden Pflanzenabtheilung angegeben wurden. Man muss dieselben, namentlich aber die Querschnitte, sowohl aus der Peripherie, als aus der Mitte des Stengels oder Stammes anfertigen, um sich über die Verschiedenheiten im Baue der an beiden Stellen auftretenden Gefässbündel in genügender Weise aufzuklären. Neben der Anwendung der Zell- und Holzstoffreagentien empfiehlt sich besonders die Färbung zur Anschaulichmachung der in Bezug auf die Zellwandbeschaffenheit auftretenden Verschiedenheiten. Zur einfachen Färbung ist namentlich wässerige Safraninlösung geeignet, durch welche die nicht verholzten Elemente orangefarben, die verholzten carminroth gefärbt werden. Derartig gefärbte Präparate können nach vorherigem Auswaschen in Wasser in dem Hoyer'schen Einschlussmittel aufbewahrt werden. Doppelfärbungen lassen sich unter anderem mittelst Methylgrün in Verbindung mit Hämatoxylin, Alauncarmin und Rutheniumroth, sowie mit Pikro-Anilin ausführen. Bei der ersteren lässt man zuerst Methylgrün, dann, nach dem Auswaschen, eines der letzteren Färbemittel wirken. Die verholzten Zellwände erscheinen dann — allerdings ziemlich bald verblassend — grün, die unverholzten im einen Falle violett, in den beiden anderen lebhaft roth gefärbt. Bei Pikro-Anilinblau bewirkt die Pikrinsäure Gelbfärbung der verholzten, das Anilinblau Blaufärbung der nicht verholzten Zellwände.

C. Gefässbündel der Dikotyledonen.

Die Gefässbündel des Stammes der Dikotyledonen, welche sich als geschlossene denjenigen der Monokotyledonen anreihen, als offene sich im Laufe der Ausbildung zu einem das Mark umgebenden Ringe zusammenschliessen, gehören meist der collateralen, in selteneren Fällen der concentrischen Form an, während diejenigen der Wurzel die radiale Form zeigen.

a) Geschlossene Gefässbündel.

In den geschlossenen Gefässbündeln, welche in dem Stengel von Ranunculus, Chelidonium, Papaver, Cucurbita, Bryonia, Taraxacum u. a. auftreten, liegen die einzelnen Gefässbündel isolirt in dem Gewebe des

Digitized by Google

Stengels und werden durch mehr oder minder ansehnliche Lagen meist zartwandigen (Fig. 258 u. 259, S. 384 u. 385), hier und da aber derbwandigen und verholzten (Fig. 257, *P*), von jenem der Rinde und des Markes in der Regel verschieden gestalteten, englumigeren, parenchymatischen Zwischengewebes von einander getrennt, oder sie erscheinen, wie bei einer Anzahl von Wasserpflanzen, in Gestalt eines einfachen, achsenständigen Stranges.

Bei der collateralen Form gleicht hier das Gefässbündel, welches sich während einiger Zeit der Vegetationsperiode durch sein zwischen

Fig. 257.

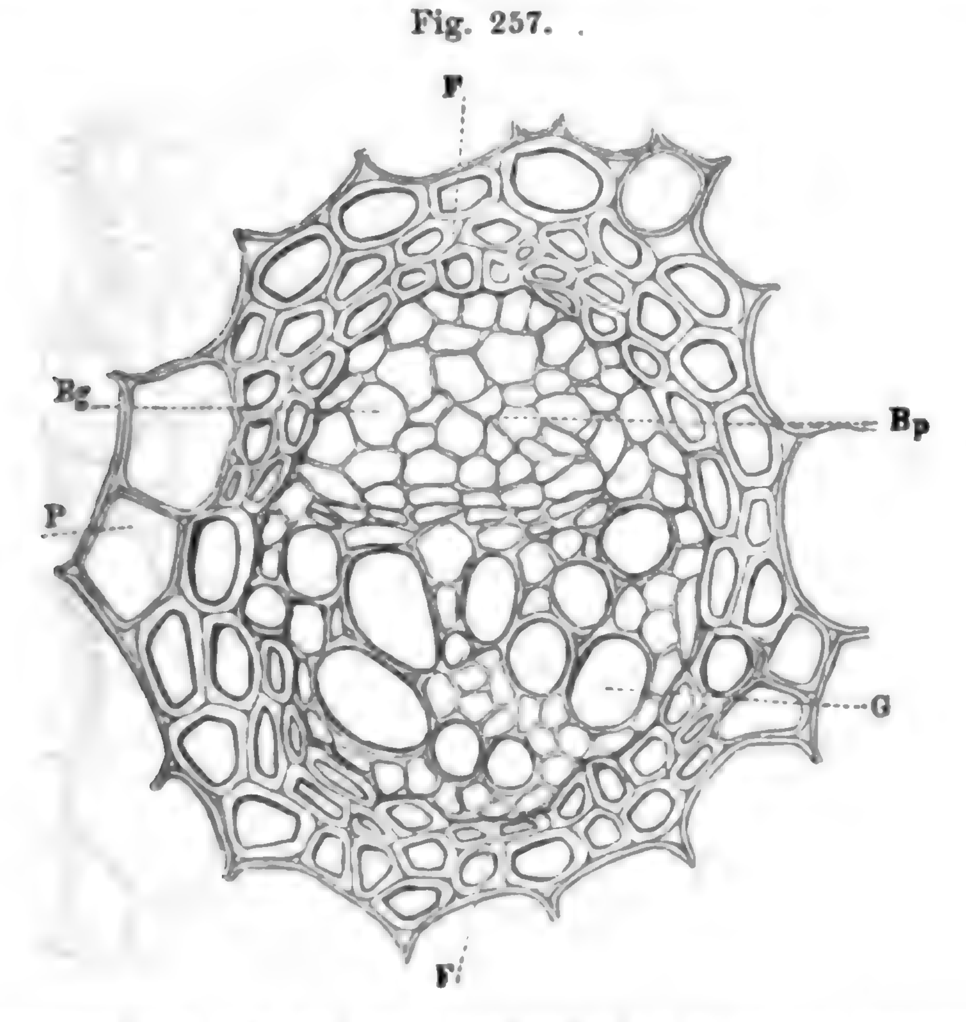


Fig. 257. Querschnitt durch eines der kleinen Gefässbündel des Stengels von Ranunculus bulbosus. *FF* Fasercylinder, *P* Stengelparenchym. Vergr. 1 : 330.

dem Holz- und Basttheile gelegenes Cambium in der normalen Weise verdickt, in seiner einfachsten Form fast ganz und gar demjenigen der Monokotyledonen (man vergleiche z. B. Fig. 257 mit Fig. 247). Sein Holztheil besteht aus wenigen gestreckten, in der Regel minder stark verdickten, porösen Holzzellen, welche sich bald mehr dem gestreckten Parenchym nähern, bald wirkliche Faserzellen sind, aus dünnwandigem, meist in der Nähe der Gefässe stehendem Parenchym und aus Gefässen, welche als deutlich aus Röhrenzellen zusammengesetzt erkannt werden. In Bezug auf die Verdickungsweise findet sich gleichfalls eine fast vollkommene Uebereinstimmung mit den Monokotyledonen. Die innersten, engen und ältesten Gefässe sind Ringgefässe, hierauf folgen weiter, dann enger gewundene Spiralgefässe, dann netzförmige und endlich oft sehr

Digitized by Google

weite, behöfte, poröse Gefässe. Der Basttheil enthält an seiner Grenze gegen die Rinde ein Bündel oder einen Halbmond von Bastfasern, welche, wie in den Aesten und dem Blattstiele von Cichorium, im Stengel von

Fig. 258.

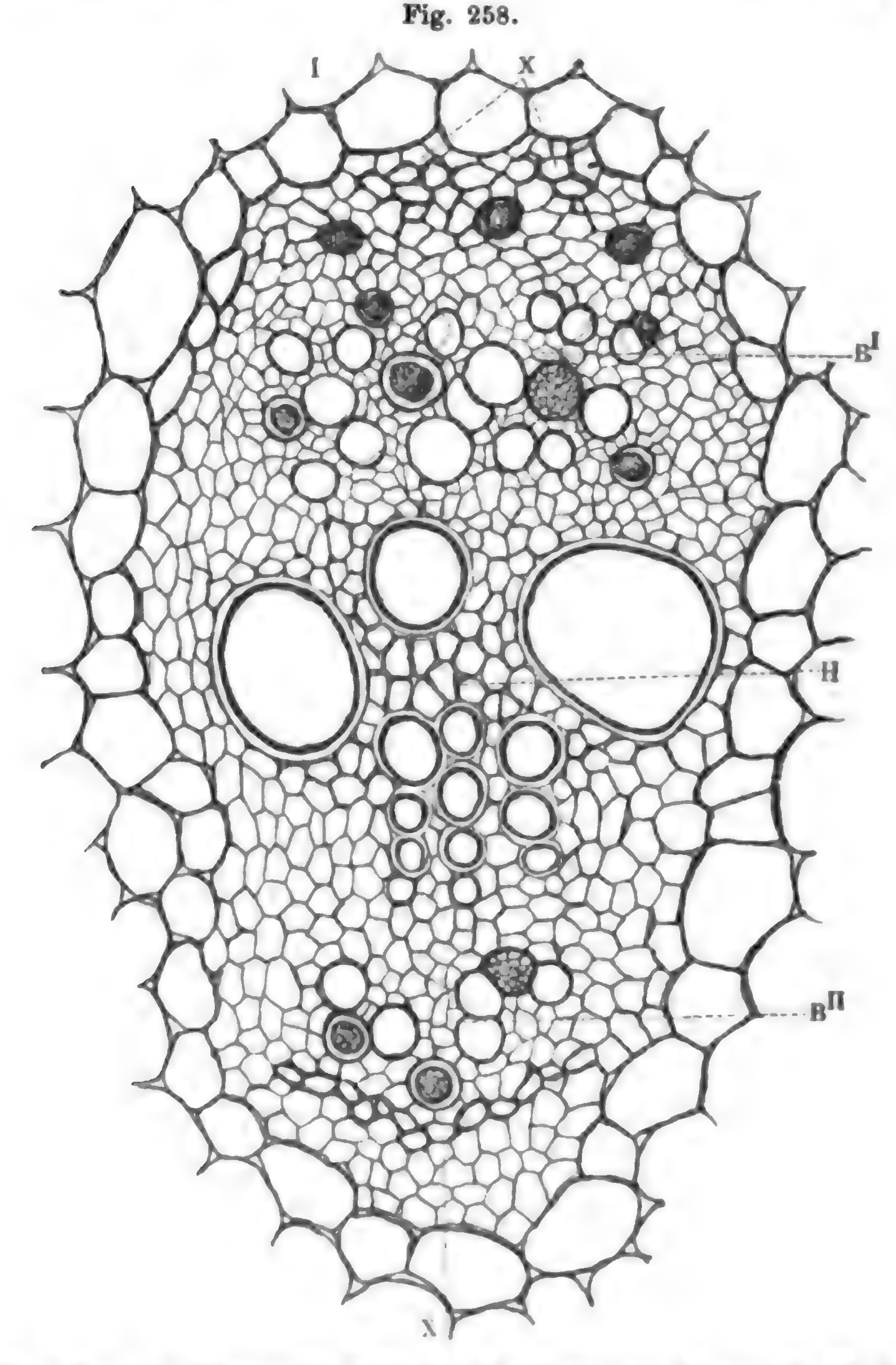


Fig. 258. I Quer-, II Längsschnitt durch das Gefässbündel von Bryonia alba. *H* Holztheil, *B*^{I} äusseres, *B*^{II} markständiges Bastbündel, *X* stärker verdickte (Faser-) Zellen des Bastes. Vergrösserung 1 : 150.

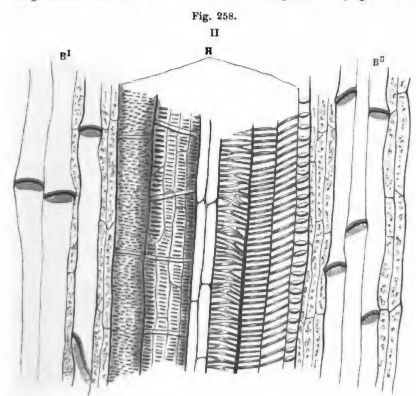
Chelidonium und Papaver, bald echte Faserzellen sind, bald sich mehr dem gestreckten Parenchym nähern und dann nur höchst gering verdickte Wände haben, wie im Stengel von Cucurbita, Bryonia (Fig. 258), in den jungen Aesten und Blattstielen von Angelica. Nach innen von

Digitized by Google

den Bastfasern steht ein Strang zartwandiger Elementarorgane, die sich häufig schon auf dem Querschnitte von einander unterscheiden, indem die einen ein weiteres, die anderen ein engeres Lumen besitzen. Die ersteren stehen hier meist ohne eine bestimmte Ordnung zwischen den letzteren. Es sind dies die Siebröhren (Bastgefässe), welche auf ihren Querwänden die S. 282 u. f. von der einen Modification derselben geschilderte Configuration beobachten lassen. Auf dem Längsschnitte (Fig. 258, II)

Fig. 258.

II



sind ihre Wände bald vollständig glatt, bald zeigen sie, und zwar dann, wenn sich die Wände zweier benachbarten Gefässe berühren, die bekannten Siebporen. Die engeren Zellen sind langgestreckte Parenchymzellen, denen hier und da (Cucurbita Pepo) kürzere, Chlorophyll führende Parenchymzellen beigemengt erscheinen.

Nächst dem der Rinde zugewendeten normalen Basttheile trifft man bei diesen isolirten Gefässbündeln häufig ein zweites, jedoch meist nur aus den dünnwandigen Elementarorganen bestehendes Bastbündel, welches den Holztheil gegen das Centrum des Stengels, d. h. gegen das Markgewebe hin, begrenzt (Bryonia, Cucurbita) (Fig. 258), so dass wir die als bicollaterale bezeichnete Unterform vor uns haben.

Digitized by Google

Die Milchsaftgefässe, welche hier bei einzelnen Gattungen und Arten erscheinen, treten theils in dem Umfange — oft des ganzen Gefässbündels —, theils in der Mitte des Basttheiles auf (Fig. 259, *M, M*).

Fig. 259.

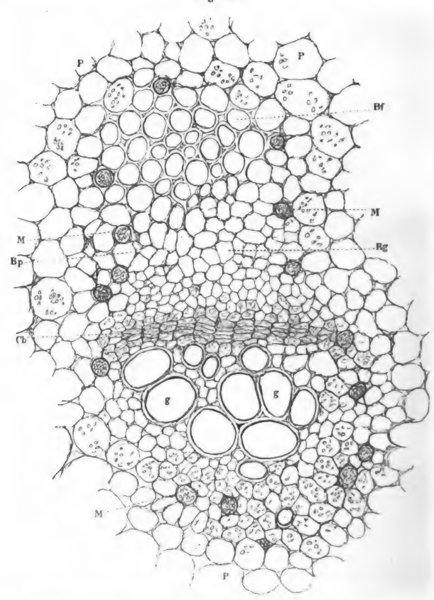


Fig. 259. Querschnitt durch ein Gefässbündel von Chelidonium majus. *M* Milchsaftgefässe. *P* Zwischengewebe. Vergr. 1 : 360.

Digitized by Google

Bei der concentrischen, der ersten Unterform angehörigen Form, welche in den mark- und rindenständigen Gefässbündeln der Melastomaceen, ferner in denen des Stammes von Gunnera und Primula Auricula, endlich in dem achsenständigen Strange von Hippuris, Trapa, Hottonia, Myriophyllum, Callitriche, Elatine auftritt, lassen sich in Bezug auf die Anordnung zwei verschiedene Verhältnisse beobachten. Entweder findet sich ein mittlerer Strang einer kleineren oder grösseren Anzahl von Ring-, Spiral- und Netzgefässen nach aussen von dem Basttheil umgeben, wie bei den Melastomaceen, Primula, oder es wird der mittlere Theil von einem verhältnissmässig starken Markcylinder eingenommen, um welchen die durch zartes Parenchym getrennten Gefässe einen mehrreihigen Ring bilden, auf welchen der durch die Bündelscheide von der Rinde getrennte, ebenfalls ringförmige Basttheil folgt (Hippuris, Callitriche, Trapa u. a.).

b) Ringförmige Gefässbündel der krautartigen Gewächse.

Den Uebergang von dem getrennten Gefässbündel der eben betrachteten Gruppe krautartiger Pflanzen zu dem Gefässbündel der holzartigen Gewächse bildet eine Gruppe anderer krautartiger Pflanzen (Lactuca, Scorzonera, Begonia, Carum, Angelica, Conium, Daucus etc.), bei denen, während die Bastbündel noch weiter von einander getrennt bleiben, zwischen den anfänglich isolirten Gefässbündeln aus einer Schichte von bildungsfähigem Parenchym des Grund- beziehungsweise Zwischengewebes: dem Verdickungsring, zunächst durch tangentiale, von den Rändern des Cambiums der primären Gefässbündel aus sich seitlich fortpflanzende Theilungen ein geschlossener, mit dem Cambium jener im Zusammenhange stehender Cambiumcylinder und aus diesem ein zusammenhängender, nur von engeren Markstrahlen unterbrochener Ring von Holzzellen hervorgeht, in welchem sich hier und da auch einzelne kleinere Gruppen der cambialen Zellen zu Gefässen ausbilden. Die Gefässbündel selbst, welche hier einen um das Mark geschlossenen Ring bilden, erleiden in ihrer Zusammensetzung keine Veränderung gegen die früheren.

Auch hier findet sich mehrfach die bicollaterale Unterform, indem nach der Markseite hin bei einzelnen Pflanzenarten bald mit dem Gefässbündel in Verbindung stehende, bald isolirte, nahe dem Gefässbündel in dem Markgewebe liegende Bastbündel aus nur dünnwandigen Elementen zusammengesetzt erscheinen.

Eine Anzahl der in diese Gruppe gehörigen Pflanzen bildet von ihren Siebröhren (Bastgefässen) einen Theil, und zwar jene, welche an der Grenze des Basttheiles Stellung nehmen, wohl alle, jene im Innern des Basttheiles wenigstens zum grossen Theil (Fig. 261, S. 389), durch den früher beschriebenen Process des Verschmelzens der Längswände zu gegliederten Milchsaftgefässen um, welche durch Anastomosen sowohl unter sich, als mit den in der Rinde zu beobachtenden gleichen Elementen,

Digitized by Google

Fig. 260.

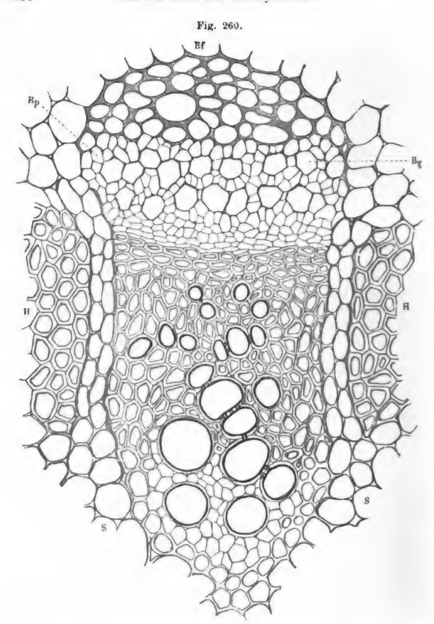


Fig. 260. Querschnitt durch das Gefässbündel von Heracleum spondylium. *H H* Holztheil des Gefässbündels, *S S* Markstrahlen. Vergr. 1 : 360.

seltener mit den im Innern des Basttheiles vorkommenden Bast- oder Milchsaftgefässen durch Anastomosen in Verbindung stehen.

Digitized by Google

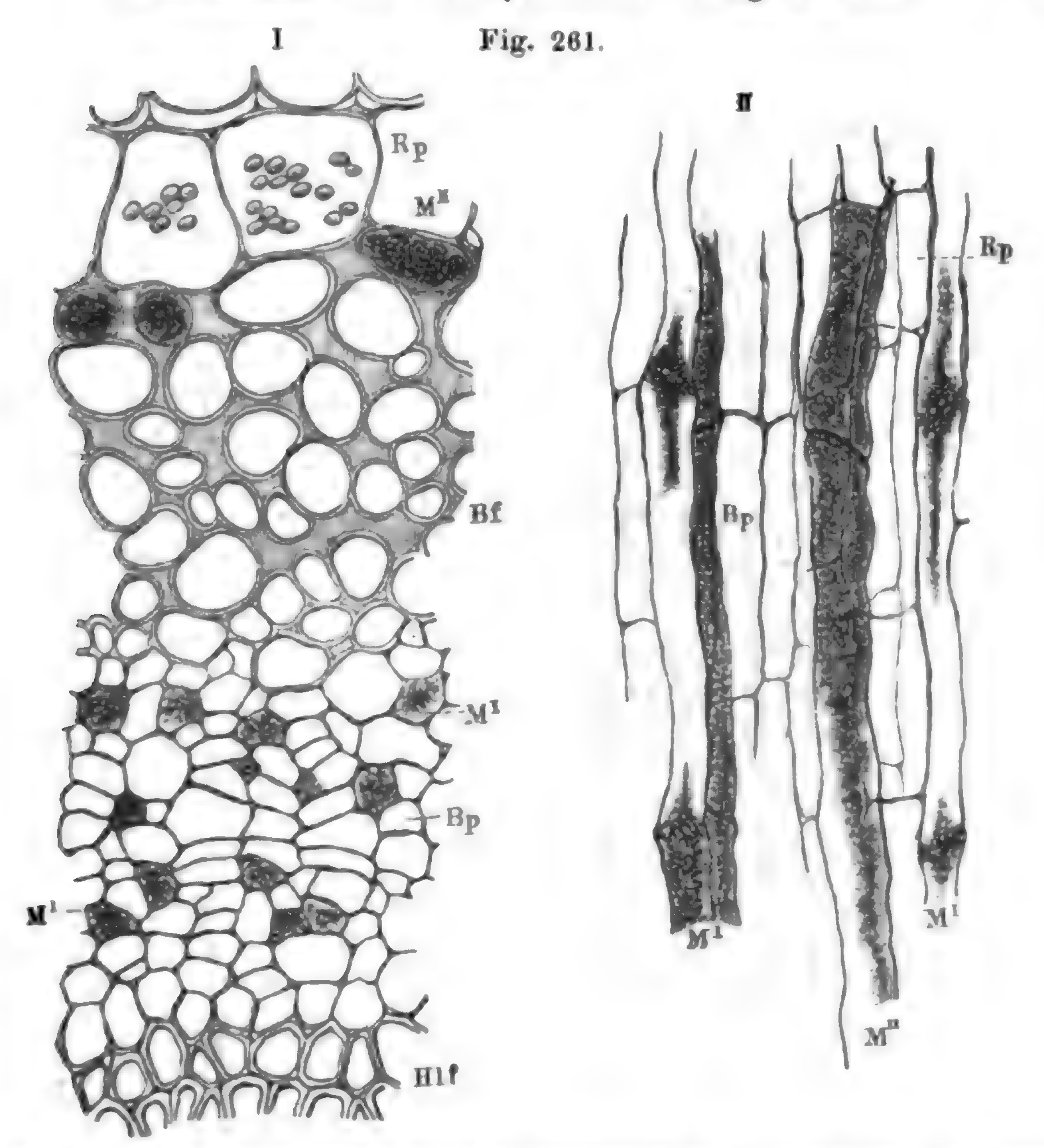


Fig. 261. I Quer-, II Längsschnittpartie durch das Gefässbündel von Lactuca scariola. M^{II} aussenständige, M^{I} innere Milchsaftgefässe, *Rp* Rindenparenchym. Vergr. 1 : 400.

c) Gefässbündel der dikotyledonen Holzgewächse.

Gehen wir zu dem in den älteren Internodien einen vollständig geschlossenen Ring bildenden Gefässbündel der ausdauernden, namentlich der holzartigen Dikotyledonen über, welches, wie bei den krautartigen Gewächsen, seinen Ursprung aus isolirten Strängen von Cambium nimmt, aus denen sich die einzelnen Elementartheile hervorbilden, und bei welchen, wie bei den letztgenannten Pflanzen, erst im weiteren Verlaufe des Wachsthums, und zwar entweder durch im Grossen und Ganzen gleiche Vorgänge, wie bei diesen, oder durch die vorgängige Bildung von einzelnen oder mehreren Zwischenbündelchen (z. B. Clematis, Boehmera, Fraxinus, Acer u. a.), und von diesen und den Primärbündeln aus fortschreitender Bildung von Theilungsgewebe, die Vereinigung zu einem geschlossenen Ringe erfolgt, so finden wir Folgendes: Am Ende der ersten Vegetationsperiode erscheint dasselbe zwar noch dem oben beschriebenen Gefässbündel ähnlich gebaut, unterscheidet sich aber doch schon durch das Auftreten von zahlreichen Gefässen in der zwischen den

Digitized by Google

Fig. 262.

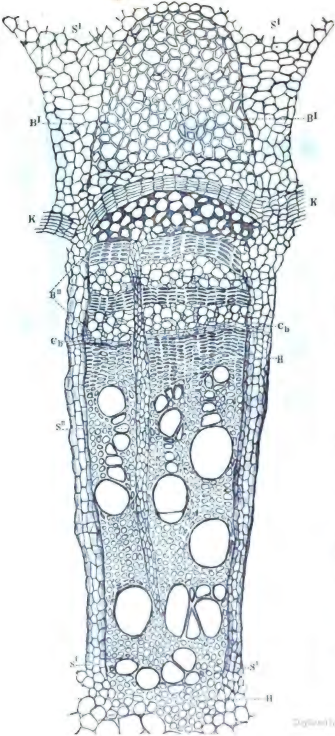


Fig. 262. Querschnitt eines einjährigen Astes von Vitis vinifera als Typus des Gefässbündels der dikotyledonen Holzgewächse. *R* Rinde, *B'* primäres Bastbündel, *K* Korkgewebe, *B''* nachgebildeter Bast, *Cb* Cambium, *H H* Holztheil, *S'* Markrindenstrahlen, *S''* Bündelstrahlen (s. S. 419), *M* Mark. Vergr. 1 : 100.

Digitized by Google

Erstlingsbündeln gelegenen Holzmasse, sowie durch die im ganzen Umfange des Stammes mehr gleichmässige Ausbildung des Basttheiles. Das Cambium verliert nach Abschluss dieser Periode seine Fortbildungsfähigkeit nicht. In der Ruheperiode der gemässigten Klimate verharren dessen Zellen in dem cambialen Zustande, um dann bei dem Erwachen der Vegetation im ganzen Umfange von Neuem die verschiedenen Elemente des Gefässbündels zu entwickeln und damit das Dickenwachsthum der Achsenorgane zu vollziehen. In der Regel sind es nur wenige, oft nur eine oder zwei Zellenreihen, welche im Cambialzustande verharren, während die diesem zunächst gelegenen Zellenreihen eine Umbildung erleiden, die in Bezug auf die Verdickung der Zellwand, sowie auf die räumliche Ausdehnung des Lumens meistens nur unbedeutend ist. So gleichen die dem Cambium zunächst gelegenen Zellen diesem noch fast vollkommen, zeichnen sich aber nach der Anwendung von Chlorzinkjodlösung sofort vor ihnen aus, indem ihre jüngsten Ablagerungsschichten Zellstoffreaction zeigen, während die wahren Cambiumzellen ungefärbt bleiben.

Holz- und Basttheil des Gefässbündels sind in dieser Gruppe am vollständigsten entwickelt (Fig. 262) und deren drei Elemente treten weit entschiedener hervor, als dies bei dem Gefässbündel der krautartigen Gewächse der Fall ist. Wir werden uns daher hier etwas eingehender mit denselben zu beschäftigen haben.

Zum Studium der verschiedenen Zellenarten und der Stellung, welche sie zu einander in dem nur von den Markrindenstrahlen, sogenannten primären Markstrahlen (Fig. 262, S'), ganz durchsetzten, von den später aus dem Cambiumringe neben den übrigen Elementen hervorgegangenen Bündelstrahlen, secundären Markstrahlen (Fig. 262, S''), bis auf grössere oder geringere Tiefe zerklüfteten zusammenhängenden Gefässbündelkreise einnehmen, bedarf es nächst dem Querschnitte zweier Längsschnitte. Der eine muss parallel den Markstrahlen, der andere senkrecht gegen diese geführt werden (radialer und tangentialer Längsschnitt). Ausserdem gewähren — namentlich für die Kenntniss des Baues der einzelnen Zellenarten — die Macerationspräparate, welche man hier am leichtesten vermittelst der Anwendung von Salpetersäure und chlorsaurem Kali, oder auch nach dem neuerdings von Mangin empfohlenen Verfahren (S. 211) erlangt, ganz erhebliche Aufschlüsse.

Holztheil des Gefässbündels.

Der Holztheil (Xylem, Gefässtheil) des dikotyledonen Gefässbündels, in welchem das Dickenwachsthum auf das Entschiedenste zum Ausdruck kommt, lässt in mehr oder minder deutlich erkennbarer Weise eine Gliederung in während der sich folgenden Vegetationsperioden entstandenen Zuwachsmassen erkennen, welche als Jahresringe bezeichnet

Digitized by Google

werden und deren Abgrenzung durch die in dem folgenden näher zu kennzeichnenden Unterschiede in dem Bau und in vielen Fällen ausserdem auch durch die Anordnung der sie zusammensetzenden, während des Beginnes und Endes der Vegetationsperiode, d. h. in dem Frühlings- und Herbstholze entwickelten Zellenarten: Holzfasern, Holzparenchymzellen und Holzgefässe, bedingt wird.

Holzfasern. — Die — hier in dem von den Begründern der Pflanzenhistologie angenommenen Umfange aufgefassten — Faserzellen des Holztheiles, Holzfasern, Holzzellen, welche aus den langgestreckten, parenchymähnlichen, höchstens stumpf gespitzten Cambiumzellen hervorgegangen sind, erhalten da, wo sie diese Form nicht annähernd beibehalten und dabei kurz bleiben, ihre am häufigsten zu beobachtende, mit bedeutender Längenerstreckung verbundene faser- oder spindelförmige Gestalt in Folge der nach ihrer Entstehung stattfindenden Ausdehnung in die Länge, wodurch ihre Querscheidewände sich seitlich an einander legen und je zwei über einander liegende Zellschichten in einander greifen. Dieselben zeigen in ihrem ausgebildeten Zustande mannigfache Verschiedenheiten in Bezug auf die Mächtigkeit der Verdickung ihrer Wände sowohl, als auf die Form der secundären Verdickungsschichten.

Eine Trennung in verschiedene Systeme und eine besondere (nicht einmal glücklich gewählte) Benennung dieser keineswegs auf wesentlichen Unterschieden beruhenden Modificationen der Holzfasern halte ich aber zur Zeit weder für begründet, noch für nothwendig; im Gegentheil verlieren wir uns damit in eine Zersplitterung der Elementarorgane, die nur zu Verwirrungen führt. Zunächst ist eine strenge Durchführung dieser versuchten Trennung nach meinen ziemlich umfangreichen Untersuchungen, ohne der Natur Zwang anzuthun, histologisch nach keiner Seite hin durchzuführen, und dann stehen uns über das physiologische Verhalten der einzelnen Elemente des Holzkörpers noch lange nicht die Erfahrungen zu Gebote, welche uns mit einem Haupteintheilungsgrunde zu versorgen im Stande wären.

Alles, was wir vorläufig bei unseren Beobachtungen in histologischer Beziehung thun können, ist, dass wir auf die Verschiedenheiten in der Formenbildung und dem chemischen Verhalten der Zellwand achten und dann nach den nöthigen Anknüpfungspunkten für das physiologische Verhalten suchen, welches etwa in einer gefundenen Formverschiedenheit begründet sein könnte. Letzteres ist aber bis jetzt nur in Bezug auf zwei jener Modificationen der Holzzellen geschehen, worauf wir gleich zurückkommen werden.

Was die Mächtigkeit der Verdickungsschichten betrifft, so findet in der Regel eine ansehnliche Verschiedenheit zwischen den Holzzellen des inneren (Frühlingsholz) und äusseren Theiles (Herbstholz) der Jahresringe statt, indem die letzteren weit stärkere secundäre Verdickungs-

Digitized by Google

schichten entwickelt haben, als die ersteren. Dieser Unterschied tritt besonders merklich nur bei den härteren Laubholzarten und auch dann nie so stark, wie bei den Nadelhölzern (siehe weiter unten) hervor, bei denen die Wandung der Herbstholzzellen oft mehr als um das Doppelte dicker ist, als die der Frühlingsholzzellen. Häufig genug ist indessen die Stellung in dem Jahresringe in dieser Beziehung kaum von erheblicher Bedeutung, und es zeichnen sich die Zellen des Herbstholzes nur durch ihre in radialer Richtung zusammengedrückte Gestalt aus, was sie anscheinend stärker verdickt erscheinen lässt. Auf der anderen Seite finden wir unabhängig von der eben berührten Stellung einen oft sehr bedeutenden Unterschied in der Wandverdickung. Hier sind es grössere oder kleinere, meistens gefässlose Gruppen des Holzkörpers, welche sich entweder in mit gefässführenden Gruppen dünnwandiger Holzfasern (**Tracheiden, gefässähnliche Holzfasern** der Autoren) wechselnden, unregelmässig zerstreuten Gruppen (Fig. 263, Hf^{II}), oder in mehr regel-

Fig. 263.

Fig. 263. Querschnitt durch das Holz von Quercus robur. Hf^{I} dünnwandige, Hf^{II} stark verdickte Holzfasern, G^{I} grosse, G^{II} kleine, zwischen den dünnwandigen Holzzellen liegende Gefässe. Vergr. 1 : 100.

Digitized by Google

mässigen, tangentialen oder radialen Bündeln angeordnet finden, deren Zellen (von den Autoren als Libriformfasern oder Sklerenchymfasern bezeichnet) eine, oft bis zum Verschwinden des Lumens gehende Verdickung der Zellwand zeigen, indem ihre secundären Verdickungsschichten in sehr bedeutender Mächtigkeit entwickelt sind (Quercus, Spartium, Fraxinus, Ficus). Eine eigentliche Schichtung lässt sich nur in einzelnen Fällen in diesem Theile der Zellwand beobachten und es erscheinen dann die weicheren und dichteren Lamellen derselben Schicht nur äusserst wenig verschieden. Dagegen beobachtet man in dieser Partie der Wandung öfter schon bei Betrachtung der Zellenarten (S. 261) beschriebene, von derjenigen der primären Zellwand, von welcher sie in der Regel scharf abgegrenzt erscheint, ganz abweichende gallertartige Beschaffenheit des Zellstoffes.

Die Gestaltung der Verdickungsschichten ist entweder auf die poröse beschränkt, oder es findet sich neben den Poren noch eine spiralige Verdickung in den jüngsten secundären Schichten ein.

Die Poren sämmtlicher Holzzellen sind behöft. Allerdings ist bei sehr kleinen Poren und stark verdickter Wandung der Hof nur schwer zu erkennen und jene erscheinen scheinbar unbehöft. Dennoch aber kann er einer aufmerksamen Beobachtung nicht entgehen (Fig. 263 und 264). Die kleinsten, in der Regel auch mehr vereinzelt, aber allseitig vorkommenden Poren erscheinen einestheils bei den oben erwähnten, stärker verdickten, behöften Holzzellen des äusseren Theiles der Jahresringe, anderntheils, und zwar sowohl als deutlich behöfte (Quercus, Fraxinus) oder als unbehöfte bezeichnete (Sambucus, Clematis, Syringa, Ligustrum) bei den stark verdickten, durch die Jahresringe in Gruppen und Bänder verbreiteten (Libriformfasern, Sklerenchymfasern), während sich die grösseren Poren in dem Frühlingsholze, wo sie in der Regel nur auf den radial verlaufenden Wandungen auftreten, sowie in den minder stark verdickten, die Gefässe begleitenden, gefässähnlichen Holzfasern (Tracheïden) als immer deutlich behöfte finden. Der Hof der grösseren wie der kleineren Poren besitzt im Allgemeinen eine kreisrunde, seltener eine elliptische Form. Der Porencanal dagegen ist meistens spaltenförmig und in der Richtung einer nach links aufsteigenden Spirale schief gestellt; in selteneren Fällen hat er eine annähernd kreisrunde Gestalt. Die in der Jugend immer geschlossenen Poren treten bei allen jenen Holzzellen, welche nur unter sich oder mit Gefässen in Verbindung stehen und in ihren späteren Lebensperioden Luft führen, durch die Resorption der Scheidewand mit einander in offene Verbindung. Dagegen bleibt bei jenen echten Holzzellen (Sambucus, Clematis, Berberis, Vitis, Hedera etc.), welche auch in späterem Alter der Aufspeicherung von Stärke oder anderen Reservestoffen dienen und in der Jugend bisweilen Chlorophyll enthalten (Vitis), sowie bei den mit Markstrahlen oder Holzparenchym in Verbindung stehenden Holzzellen die Scheidewand erhalten. Bei einigen Pflanzengattungen (Vitis, Hedera, Punica, Rhus, Rubus etc.) tritt ausser-

Digitized by Google

dem, nachdem der Verdickungsprocess der stärkeführenden Holzzellen schon fast vollendet ist, eine Neubildung von Zellen ein, wodurch das Lumen einer jeden derselben in zwei oder mehrere parenchymatische

Fig. 264.

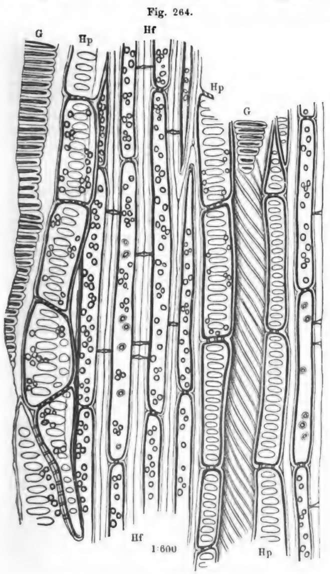


Fig. 264. Längsschnitt durch das Holz von Vitis vinifera mit gefächerten Holzfasern *Hf* und die Gefässe umlagerndem Holzparenchym. Vergr. 1 : 600.

Zellen getheilt und dieselbe zur sogenannten gefächerten Holzfaser wird (Fig. 264, *Hf*). Diese gefächerten Holzfasern bilden gleich-

Digitized by Google

sam einen Uebergang zu dem eigentlichen Holzparenchym, das in seiner Entstehungsweise manche Uebereinstimmung mit ihnen zeigt.

Die spiralförmige Verdickung ist im Ganzen ziemlich verbreitet und begegnen wir derselben, wiewohl seltener, sowohl bei den stärker verdickten, als auch bei den minder stark verdickten Holzzellen. In seltenen Fällen bildet dieselbe ein schmales, nur der jüngsten Verdickungsschicht angehörendes Band (Lonicera, Daphne); häufiger nimmt sie die Form eines sehr breiten, schon in den älteren Hüllschichten auftretenden Bandes an (Viscum), welches nur schmale, immer mit den Porencanälen zusammentreffende, unverdickte Stellen zwischen sich lässt. Oefter nähern sich diese breiteren Bänder stellenweise so sehr, dass sie mit einander verschmelzen und schmale, spaltenförmige Streifen entstehen, deren Entstehung aus den ersteren man erst nach der Anwendung von auflockernden Reagentien zu erkennen im Stande ist.

Holzparenchym. — Die parenchymatischen Zellen des Holzkörpers, das H o l z p a r e n c h y m, welches das Speicherungsgewebe des letzteren für die Reservestoffe bildet, fehlt, mit wenigen Ausnahmen [Berberis, Mahonia (S a n i o), Drimys, Winteri (S c h a c h t)], kaum einer dikotylen Holzpflanze, und setzt bei einzelnen, wie bei den Caricaarten, Bombax u. s. w. neben den Holzröhren die ganze Holzmasse zusammen.

Es zeichnet sich durch eine meist mässige, bei weichen und schwammigen Holzarten schwache bis kaum merkbare Verdickung seiner Wandungen, sowie dadurch aus, dass seine unbehöften, rundlichen oder elliptischen, allseitig — auch auf den Querwänden — bald mehr vereinzelt, bald zahlreicher auftretenden Poren immer geschlossen sind und die spiraligen Verdickungsschichten gänzlich fehlen.

Die Stellung des Holzparenchyms inmitten der anderen Elemente des Holzkörpers ist verschieden. Bald erscheint es in unmittelbarer Nähe der Gefässe, dieselben in einfachen Lagen (Fig. 265), oder in grösseren, mehr oder minder ausgedehnten

Fig. 265.

Fig. 265. Theil eines Querschnittes durch das Holz von Vitis vinifera. Vergr. 1 : 400.

Digitized by Google

Gruppen umgebend (Fig. 266), bald bildet es zusammenhängende, in tangentialen, concentrischen, ein- bis mehrzelligen Reihen angeordnete

Fig. 266.

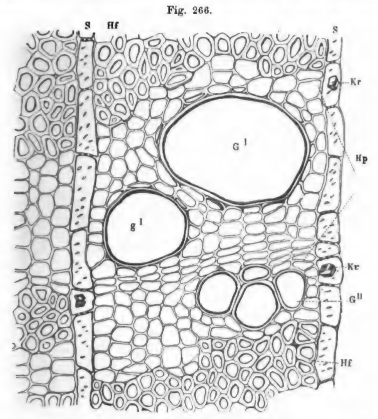


Fig. 266. Querschnitt durch das Holz von Robinia Pseud-acacia. G^{I} Gefässe des inneren, G^{II} des äusseren Theiles der Jahresringe, *Kr* Krystalle von oxalsaurem Kalke. Vergr. 1 : 400.

Binden (Fig. 267, I und II, a. f. S.), bald findet es sich einzeln oder in kleinen Gruppen mehr unregelmässig zerstreut zwischen den dünnwandigen, nicht selten aber auch zwischen dickwandigen Holzfasern (Fig. 268, S. 399). Auf dieses Vorkommen, für das der Querschnitt in der Regel genügende Auskunft gewährt, ist namentlich überall da zu achten, wo es die genaue histologische Charakterisirung einer Holzart gilt.

Die Entstehung des Holzparenchyms, über welche man sich am sichersten mittelst radialer und tangentialer Längsschnitte durch die Cambiumregion die erforderlichen Aufschlüsse verschaffen kann, erfolgt in dreierlei Weise. Bei solchen Pflanzen, wo die cambialen Zellen in ihrer späteren Entwickelung gar keine oder nur eine sehr unbedeutende Ausdehnung in die Länge erleiden, bilden sich bestimmte Cambiumzellen

Digitized by Google

unmittelbar in Holzparenchymzellen um (Viscum). Bei anderen Gewächsen erleiden manche Cambiumzellen schon als solche eine Theilung in die Quere (Ficus, Spartium), und es geht daraus jenes oft kurz faserähnliche

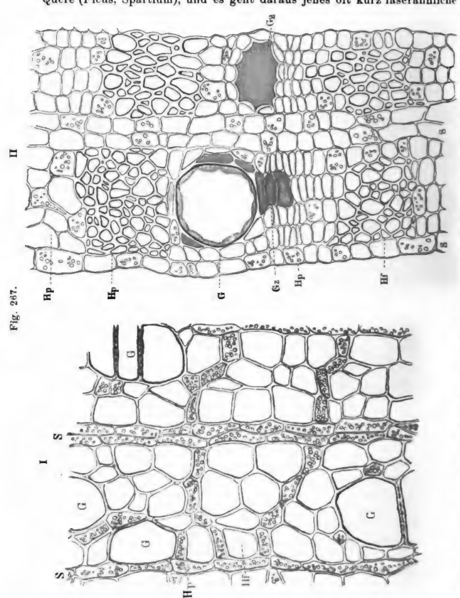


Fig. 267. I Querschnitt durch das Holz von Tilia grandifolia. II desgleichen von Erythrina spec. Gz Zellen und Gang, welche eine gummiartige Substanz enthalten. Vergr. I 1 : 400, II 1 : 300.

Holzparenchym hervor, bei dem man die Mutterzelle als solche nicht mehr erkennt. Endlich, und dies ist der häufigere Fall, theilen sich gewisse, aus dem Cambium in den Holzkörper hinübergetretene jugend-

Digitized by Google

liche Faserzellen, nachdem sie bereits ihre primäre Zellwand abgeschieden haben, in eine bis mehrere Tochterzellen. Aus diesen Theilungsprocessen entsteht dann jenes am weitesten verbreitete Holzparenchym, bei dem die Tochterzellen noch durch die Faser-Mutterzelle zusammengehalten werden (Fig. 264, S. 395). Bei den oben in zweiter Linie genannten Gewächsen (Ficus, Spartium etc.) kommen beide Theilungsvorgänge — indessen ganz sicher ohne bestimmte Regel — vor, weshalb sich sowohl zu einer grösseren Faserzelle vereinigte, als auch vereinzelte Holzparenchymzellen beobachten lassen. Diese letzteren Zellen von den ersteren zu trennen, wie es von Sanio u. A. geschehen ist, dazu liegt durchaus kein Grund vor, da beide in ihren Functionen zunächst vollständig übereinstimmen und ebenso wenig ihr Bau wesentliche Verschiedenheiten zeigt. Wo die betreffenden Stengelglieder nach der Entstehung dieser Zellen noch eine Längenerstreckung erfahren, da werden die horizontalen oder wenig geneigten Scheidewände allerdings oft unter einem ziemlich schiefen Winkel geneigt, ohne aber — mit Ausnahme der bei der zweiten Entstehungsweise vorkommenden Endzellen, welche conisch zugespitzt erscheinen — eine völlig faserartige Zuspitzung zu erleiden. Wo diese scheinbar auftritt, ist sie nicht sowohl ein Naturproduct, als durch die Präparationsweise (Maceration und Zerren mit der Nadel) hervorgebracht. Die Form der secundären Verdickungsschichten und der Bau der Poren ist schon am Eingange im Allgemeinen hervorgehoben, und es bleibt nur noch zu erwähnen, dass sich die Häufigkeit der Poren, sowie deren Grösse nach der Umgebung des Holzparenchyms richtet. Wo dieses an Gefässe angrenzt, da zeigen sich die Poren zahlreicher und sind grösser, und zwar so, dass ihre Dimensionen den Höfen der dem Gefässe angehörigen Poren entsprechen. Dagegen beobachtet man überall da, wo Holzparen-

Fig. 268.

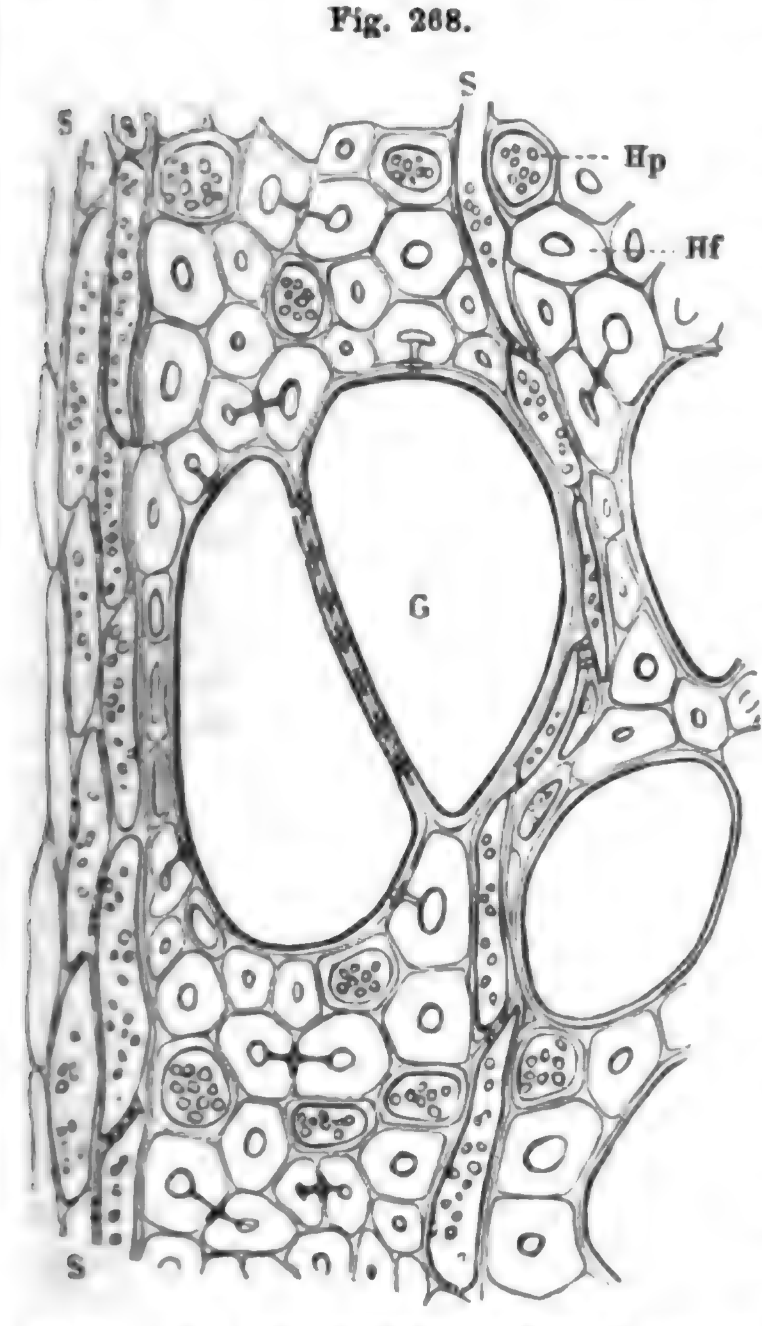


Fig. 268. Partie eines Querschnittes durch das Holz von Fagus sylvatica. Vergr. 1 : 400.

Digitized by Google

chymzellen nur unter einander oder mit Markstrahlenzellen in Verbindung stehen, spärlichere und kleinere Poren.

Das Verhalten der Zellwand sämmtlicher Holzparenchymzellen gegen Jod und Schwefelsäure, sowie gegen Chlorzinkjod liefert den Beweis, dass der Verholzungsprocess ganz in derselben Weise erfolgt, wie bei der vorhergehenden Zellenart. Die primäre Zellwand, sowie die secundären Verdickungsschichten sind immer verholzt; die Innenwand dagegen zeigt nach längerer Einwirkung des Reagenses immer Zellstoffreaction, ist also gar nicht oder doch minder vollständig verholzt als jene. Ueber das Verhalten des lebendigen Zellleibes, d. h. der Zellhaut (des Primordialschlauches) und des Wandplasmas während des späteren Lebensalters ist oft nicht mit voller Sicherheit zu entscheiden. In manchen Fällen lässt sich mittelst Färbung durch Säurefuchsin, Methylviolett, Anilinblau und andere Färbemittel ein dünner protoplasmatischer Wandbelag nachweisen, und es ist zu vermuthen, dass derselbe mindestens in den meisten Fällen erhalten bleibt, aber nach der Abwickelung des Verdickungsprocesses sich der Innenwand so fest anschmiegt, dass er sich nicht unverletzt davon trennen und ebenso wenig mit Bestimmtheit für sich beobachten lässt.

Fig. 269.

Fig. 269. Querschnitt durch das Holzbündel von Carica microcarpa. *M* Milchsaftgefässe. G^{I} ganz junges, G^{II} älteres Holzgefäss. Vergr. 1 : 400.

Holzgefässe. — Die Röhrenzellen des Holzkörpers: Holzröhren — von anderen Röhrenzellen kommen Milchröhren nur in dem Holztheile der Papayaceen (Fig. 269) vor — bilden in ihrer von der Auflösung der Querscheidewände begleiteten Verschmelzung in axialer Richtung das als Gefässe bezeichnete Elementarorgan.

Digitized by Google

Ueber ihren Bau im Allgemeinen ist schon in dem vorhergehenden Abschnitte gehandelt worden und bleiben hier nur noch einige Einzelheiten zu berühren, auf die man bei der Untersuchung des Holzkörpers der Dikotyledonen zu achten hat.

Was nun zunächst den Ort anbelangt, welchen die verschiedenen Formen in dem Gefässbündel einnehmen, so ist durch vielfältige Untersuchungen dargethan, dass von denselben jene drei Gefässformen, welche wir als Ringgefässe, Spiralgefässe und netzförmige Gefässe kennen, bei den meisten dikotylen Holzgewächsen ihren Platz in der Nähe des Markes, und zwar in dem jüngsten Theile der primären Bündel einnehmen, während in den älteren Theilen der primären Gefässbündel sowohl als in dem zwischen diesen später entstandenen Holztheile nur behöft poröse Gefässe oder solche mit gemischter Verdickung vorkommen. In manchen weichen Holzarten, wie in dem Holze des Stammes der Papayaceen und Crassulaceen, in fleischigen Wurzeln finden sich fast nur netzförmig verdickte, in dem des Stammes von Opuntia-, Mammillaria-, Echinocactus- und Milocactusarten nur Spiral- und Ringgefässe.

Fig. 270.

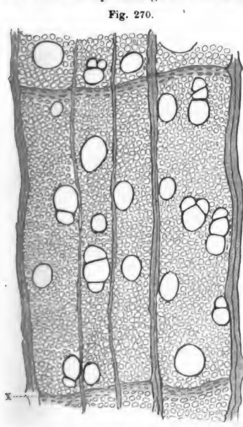


Fig. 270. Querschnitt durch das Holz von Betula alba. x, x Grenzen der Jahresringe. Vergr. 1 : 100.

Die Vertheilung in den Jahresringen unterliegt dabei mannigfachen Modificationen. Seltener sind die Gefässe annähernd gleichmässig über alle Theile verbreitet (Betula, Populus, Aesculus u. a., Fig. 270). Häufiger treten dieselben, und zwar entweder einzeln und zerstreut oder in kleineren, hier und da auch in grösseren, mit den weiteren, dünnwandigen Holzzellen und dem Holzparenchym untermischten, zerstreuten, in radiale Streifen oder durch den ganzen Jahresring in fast concentrischen Binden angeordneten (Hedera, Ulmus, Spartium, Robinia u. a., Fig. 271, a. f. S.), öfter mit Gruppen aus dickwandigen Holzfasern, denen

Digitized by Google

die Gefässe fehlen, abwechselnden (Quercus, Fig. 272) Gruppen beisammen stehend auf. Sie erscheinen dann in der Regel zahlreicher in dem inneren und mittleren Theile des Jahresringes, in dem sogenannten Frühlingsholze, während sie in dem äusseren Theile desselben, in dem Herbstholze, entweder fast gänzlich fehlen, sich nur ganz vereinzelt (Fraxinus)

Fig. 271.

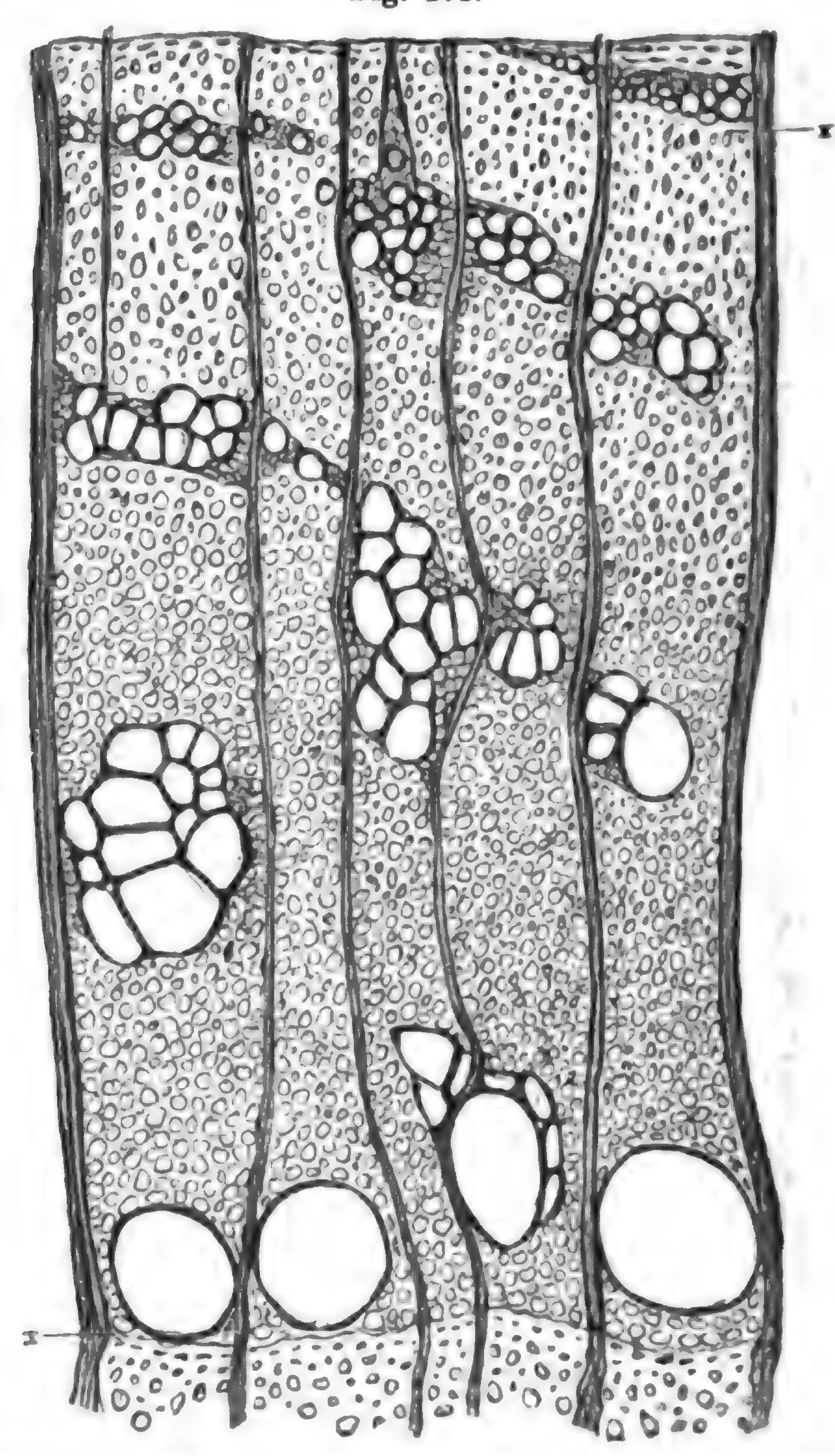


Fig. 271. Querschnitt durch das Holz von Ulmus campestris. *x*, *x* wie Fig. 270. Vergr. 1 : 100.

finden, oder auch zahlreicher vorkommen. Mit dieser Vertheilung verknüpft sich ferner noch der Umstand, dass die Gefässe des Frühlingsholzes in der Regel ein weit bedeutenderes Lumen besitzen, als diejenigen des Herbstholzes, welche bisweilen (Ulmus, Celtis, Morus, Robinia u. a.) die gemischte Verdickung zeigen.

Digitized by Google

Die Gestaltungsverhältnisse der mit einander verbundenen Röhrenzellen selbst angehend, so ist zunächst auf die Durchbrechung ihrer Querscheidewände Rücksicht zu nehmen, und hat man namentlich auf das Vorkommen der sogenannten leiterförmigen und porösen Durchbrechung zu achten und zu erforschen, ob in dem Holzkörper einer Pflanze nur

Fig. 272.

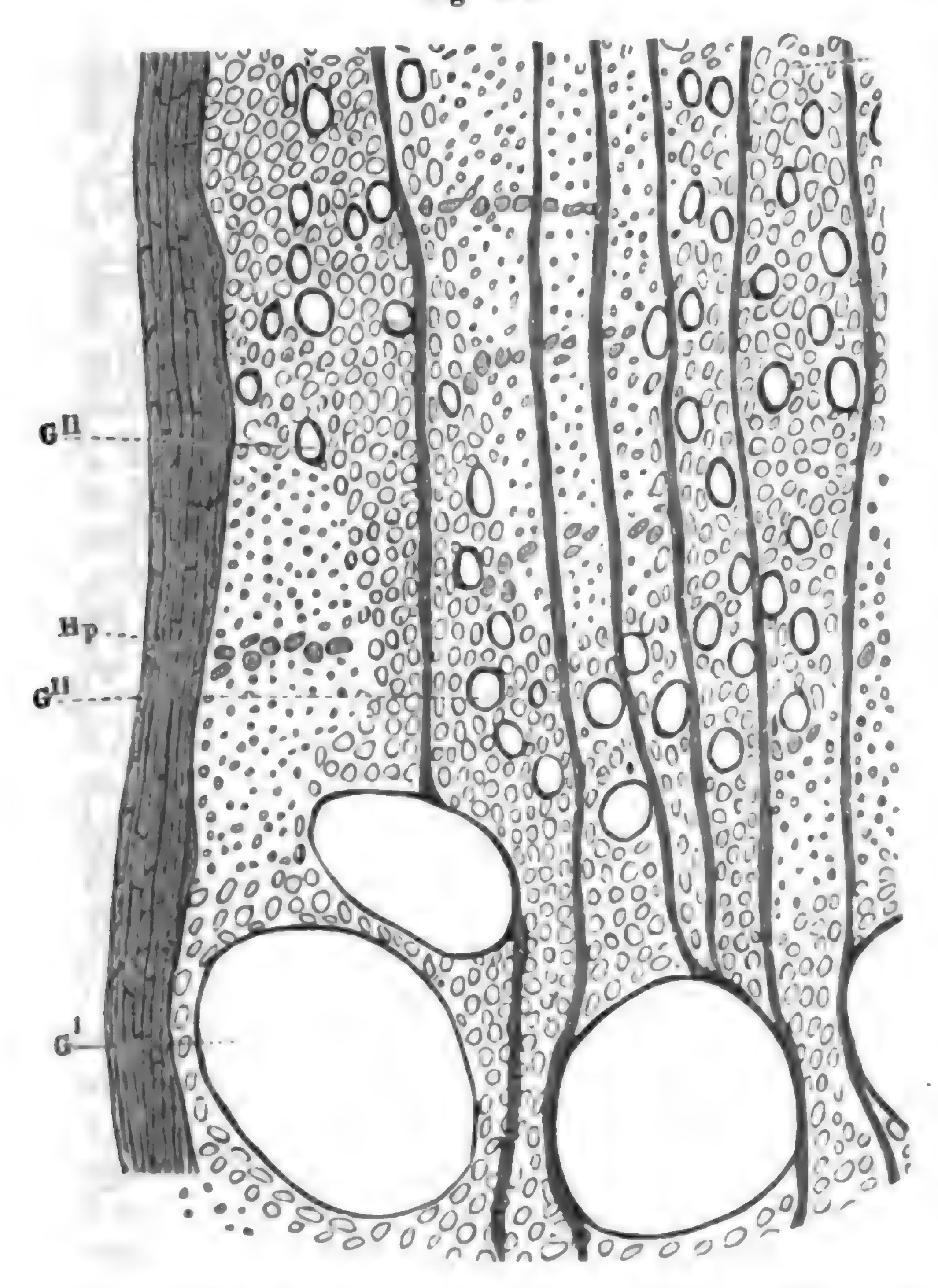


Fig. 272. Querschnitt durch das Holz von Quercus robur. G^{I} grosse Gefässe des inneren Theiles der Jahresringe, G^{II} kleine, die dünnwandigen Holzzellen begleitende Gefässe. Vergr. 1 : 100.

die eine oder die andere, oder ob beide Formen neben einander und in welchem Verhältnisse sie vorkommen. So beobachtet man z. B. bei Viburnum, Carpinus, Betula etc. nur leiterförmige, bei Quercus, Fraxinus, Clematis etc. nur poröse Durchbrechungen, während bei Lonicera Caprifolium, Platanus orientalis und Fagus sylvatica beide neben einander vorkommen.

Digitized by Google

Die Form der Verdickungsschichten verdient nicht nur Berücksichtigung im Allgemeinen, sondern es sind vorzugsweise auch jene Modificationen zu beachten, welche dieselbe gemäss der sie umgrenzenden Elemente des Holzkörpers und unter Umständen (siehe oben!) ihrer Stellung in dem Jahresringe erleidet. Es genügt zur Kenntniss dieser letzteren daher nicht, dass man die Gefässe nur nach einer Richtung hin betrachtet, sondern man muss sich eine möglichst allseitige Anschauung von denselben zu verschaffen suchen. Neben dem radialen und tangentialen Längsschnitte sind es daher vorzugsweise die Macerationspräparate, welche die erforderlichen Aufschlüsse gewähren, wenn man die einzelnen Gefässzellen unter dem Mikroskope um ihre Längsachse wendet und sie so von verschiedenen Seiten betrachtet.

Im Allgemeinen lassen sich die Formverschiedenheiten, welche in dieser Beziehung auftreten, in Folgendem zusammenfassen. Bei den einfach, d. h. nur in einer — hier der rund-, seltener länglich- (treppenförmig) behöft-porösen — Form verdickten Gefässen erscheinen die Poren auf jenen Seiten am zahlreichsten, wo Gefässe an Gefässe oder an die dünnwandige Form der Holzzellen angrenzen. Hier erscheint der Hof der Poren zugleich am grössten und es verkleinert sich derselbe in entsprechender Weise, wo Gefässe an die dickwandigen Holzzellen angrenzen, während die Anzahl der Poren den Poren der umgebenden Zellen gemäss eine spärlichere wird. Die in die Quere gezogenen Poren nehmen dabei eine mehr rundliche Form an (Vitis vinifera). In beiden Fällen sind die Poren im höheren Alter stets offen, d. h. die Schliesswand ist resorbirt. Grenzen Gefässe dagegen an stärkeführende Holzfasern, Holzparenchym oder Markstrahlen, so sind zunächst ihre Poren immer geschlossen. Im Sonstigen tritt ein ähnliches Verhalten ein, wie wir es bei den Holzzellen geschildert haben. Der Porus behält nämlich entweder ganz und gar seine normale Form bei, so dass bloss der Hof mit der Grösse der Poren des angrenzenden Elementes übereinstimmt, sich also etwaigen Falles nur etwas vergrössert oder verkleinert, während der Porencanal seine Dimensionen gar nicht ändert, oder es erweitert sich dieser letztere, so dass der Hof beinahe verschwindet, ohne aber dass der Pore (des Gefässes) zur Form des einfachen zurückkehrt. Wo gemischte Verdickungsformen erscheinen, wo also neben den Poren noch Spiralbänder vorkommen, da verschwinden diese letzteren hier und da gänzlich an jenen Seiten der Gefässe, wo sie an Holzparenchym oder Markstrahlen stossen, während sie — und dann meist als Spiralstreifung — oft allein zurückbleiben, oder doch die Poren sehr spärlich werden, wo jene von den spärlich porösen, stark verdickten Holzfasern umgeben werden.

Die Verholzung der Gefässwände erfolgt in der Regel schon frühzeitig und sehr vollständig durch alle Verdickungsschichten, welche hier nur selten in bedeutender Mächtigkeit entwickelt sind. Dieselben führen daher auch nur in der ersten Zeit ihres Lebens Säfte, während sie schon bald mit Luft erfüllt erscheinen. Nur in vereinzelten Fällen findet

Digitized by Google

man in den Gefässen Stärke (**Fischer**), gummi- und harzartige oder milchsaftähnliche Substanzen oder Farbstoffe (Periploca, Nerium, Angelica, Prunus, Chenopodium, Farbehölzer etc.), die aber ursprünglich sicher nicht in denselben enthalten waren, sondern aus den einzelnen Gewebeelementen in sie übergetreten sind.

Die Entstehung der Gefässe verfolgt man in dem Cambium des Gefässbündels. Aus diesem gehen sie entweder direct hervor, indem die hierzu bestimmten Zellen sich unmittelbar in Röhrenzellen umbilden, oder es erleiden die cambialen Zellen vorher noch eine Quertheilung und erfahren dann erst ihre weitere Umbildung. Eine solche Theilung der cambialen Gefässzellen, die sich schon durch eine grössere Weite vor den übrigen auszeichnen, lässt sich z. B. bei Paulownia imperialis, Balsamina hortensis und Cucurbita Pepo, sowie bei Datura suaveolens beobachten, dürfte aber weiter verbreitet sein und sich namentlich bei allen jenen Pflanzen finden, deren Gefässe aus sehr kurzen Röhrenzellen zusammengesetzt sind.

Für die Charakteristik der verschiedenen Holzarten sind die geschilderten Verhältnisse des Baues des Holzkörpers, und zwar neben der Vertheilung der verschiedenen Modificationen der Holzfasern, sowie des Holzparenchyms und der Gefässe, namentlich auch das Verhalten dieser Elemente in ihren eigenartigen Verschiedenheiten im Allgemeinen, sowie in den verschiedenen Theilen des Jahresringes in Bezug auf ihre räumlichen Ausmessungen, die Verdickung der Zellwand und die Form der letzteren von Wichtigkeit, und hat man daher bei jeder in die Histologie des Holzkörpers einschlagenden Untersuchung demselben die erforderliche Aufmerksamkeit zu widmen und namentlich Quer- und Längsschnitt aus verschiedenen Regionen der Stammkreisfläche, wie aus verschiedenen Höhen, aus Ast- und Wurzelholz zu beobachten, und diese Beobachtungen, wenn erforderlich, mit vergleichenden Messungen zu verbinden.

Füllzellen, Thyllen. — Bei älteren Gefässen findet sich oft eine eigenthümliche Zellenbildung in dem Inneren, indem sie ganz von zartwandigen, rundlichen oder polyëdrischen Zellen (Füllzellen, Thyllen) ausgefüllt werden. Man kann diese Erscheinung häufig bei Ficus, Nerium, Vitis, Robinia u. s. w. beobachten und sich davon überzeugen, dass die Bildung dieser Zellen mindestens zum Theil von den umgebenden Parenchymzellen ausgeht, deren Innenwände an den betreffenden Stellen durch die Poren schlauch- oder blasenartig in das Gefäss hineinwachsen, während sich in den meist durch eine Querwand abgliedernden Anstülpungen neue Zellen bilden und durch Theilung vermehren können. Ob diese Zellen im jüngeren Zustande nicht auch in dem Gefässe selbst unmittelbar aus der betreffenden Röhrenzelle entstehen, habe ich zwar nicht direct beobachtet, doch glaube ich auf diese Entwickelungsweise aus manchen fertigen Zuständen solcher Ausfüllungen, namentlich auch in den zarten Bastgefässen mancher Monokotyledonen, z. B. Calamus u. s. w., schliessen

Digitized by Google

zu dürfen. Es scheint dieselbe auch keineswegs unmöglich zu sein, indem von den jungen Mutterzellen aus alle Bedingungen zu einer derartigen Umbildung gegeben sind.

Fig. 273.

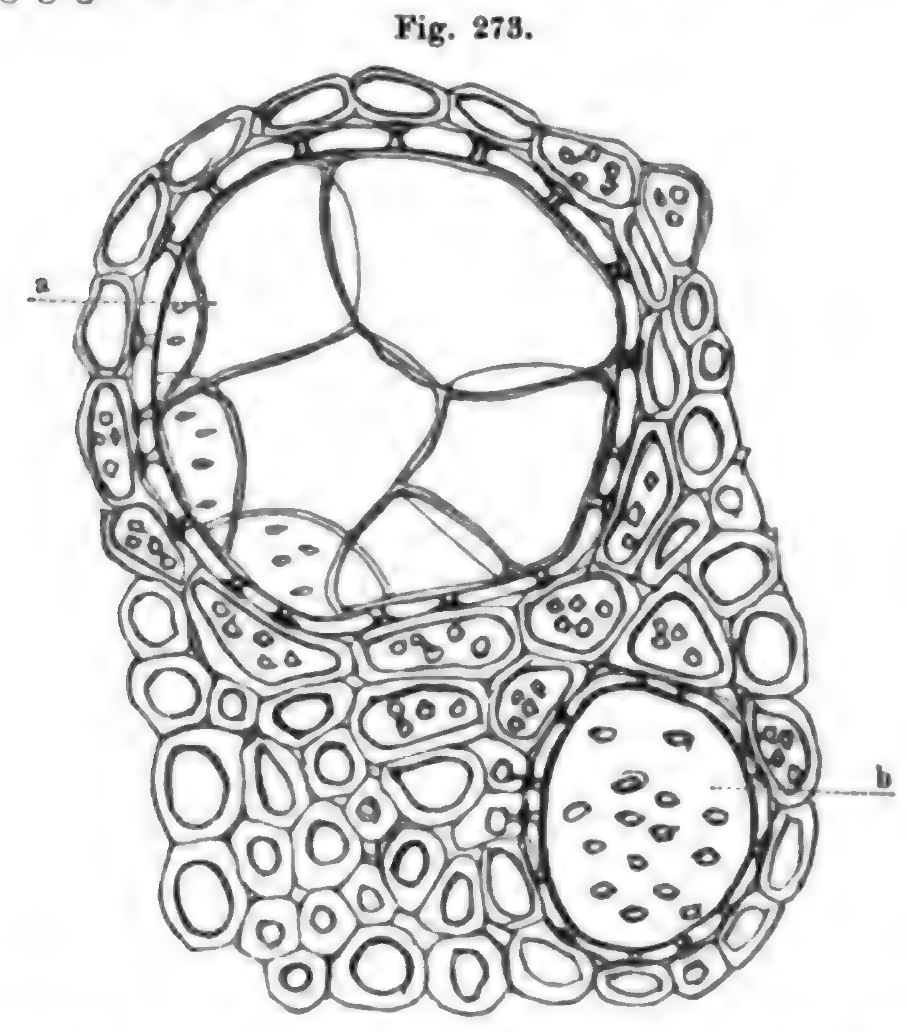


Fig. 273. Querschnitt von Vitis vinifera, welcher zwei Gefässe mit Füllzellen enthält. Bei *a* ein weites Gefäss mit zahlreichen Zellen, bei *b* die obere Wand einer der die ganze Weite des Gefässes einnehmenden, senkrecht über einander stehenden Zellen. Vergr. 1 : 400.

Basttheil des Gefässbündels.

Der Basttheil (Phloëm, Siebtheil) des dikotylen Gefässbündels, welcher die Gliederung in jährliche Zuwachszonen weit weniger scharf ausgeprägt zeigt, enthält stets die beiden als Weichbast bezeichneten Zellenarten: Parenchymzellen: Bastparenchym und Röhrenzellen: Bastgefässe oder Siebröhren, hierzu treten noch in vielen Fällen Faserzellen: Bastfasern, bei den milchsaftführenden Holzpflanzen Milchröhren und hier und da als fremde Elemente Steinzellen und Secretbehälter.

Bastparenchym. — Das Bastparenchym, welches bald mit den Bastgefässen wechselnde, breitere oder schmälere tangentiale Binden bildet (Fig. 274), bald mehr unregelmässig zwischen diese eingestreut erscheint (Fig. 275, S. 408), stimmt mit dem Holzparenchym sowohl in Bezug auf seine Entstehung, als auch auf seine Structur fast ganz überein. Die einzigen

Digitized by Google

durchgreifenden Unterschiede bestehen darin, dass dessen Wandungen mit wenigen Ausnahmen minder stark verdickt sind als diejenigen der Holzparenchymzellen, und dass seine hier und da ganz structurlosen Verdickungsschichten stets unverholzt bleiben. Nach der Entstehungsweise hat man verschiedene Formen des Bastparenchyms unterschieden. Die durch Quertheilungen aus den Cambiumzellen hervorgegangenen kürzeren und weiteren bezeichnet man als Bastparenchym im engeren Sinne, die unmittelbar, d. h. ohne Quertheilung aus den Cambiumzellen

Fig. 274.

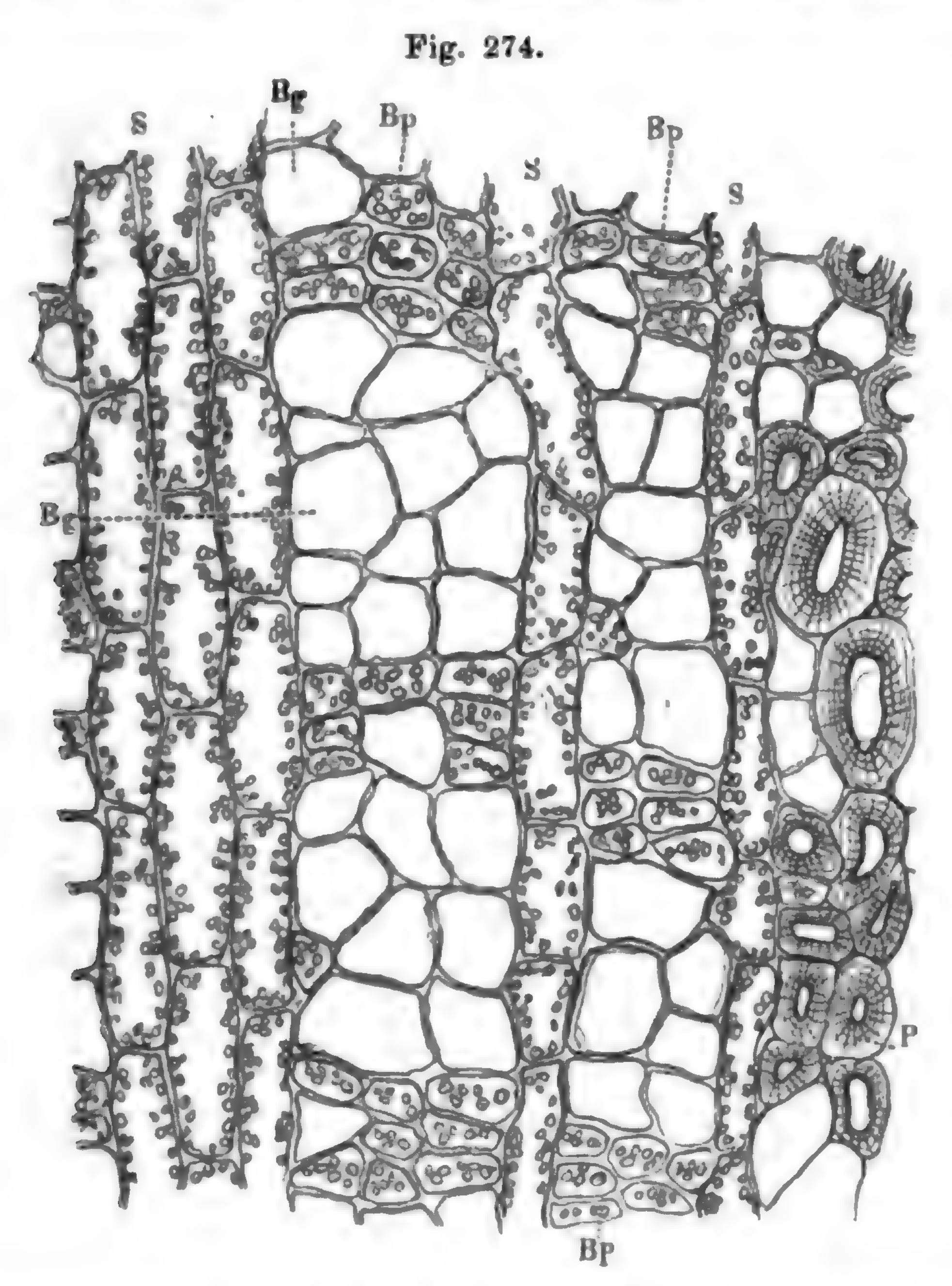


Fig. 274. Querschnitt durch das Bastbündel von Betula alba. *P* stark verdickte und verholzte Parenchymzellen. Vergr. 1 : 400.

entstandenen, sich der Faserform nähernden längeren, glattwandigen als Cambiform, die durch Längstheilung der betreffenden Mutterzelle von den Siebröhren seitlich abgegliederten, gleich den vorhergehenden englumigen, an den mit den Siebröhrenwänden in Berührung stehenden Wänden siebporigen als Geleitzellen. Der Inhalt des Bastparenchyms im engeren Sinne besteht während der Ruheperiode aus Stärke, die mit dem Beginn der Vegetation aufgelöst und durch die Markstrahlen (?)

Digitized by Google

weiter geführt wird. Das Cambiform und die Geleitzellen führen dagegen protoplasmatische Stoffe. In dem älteren Bastparenchym, welches

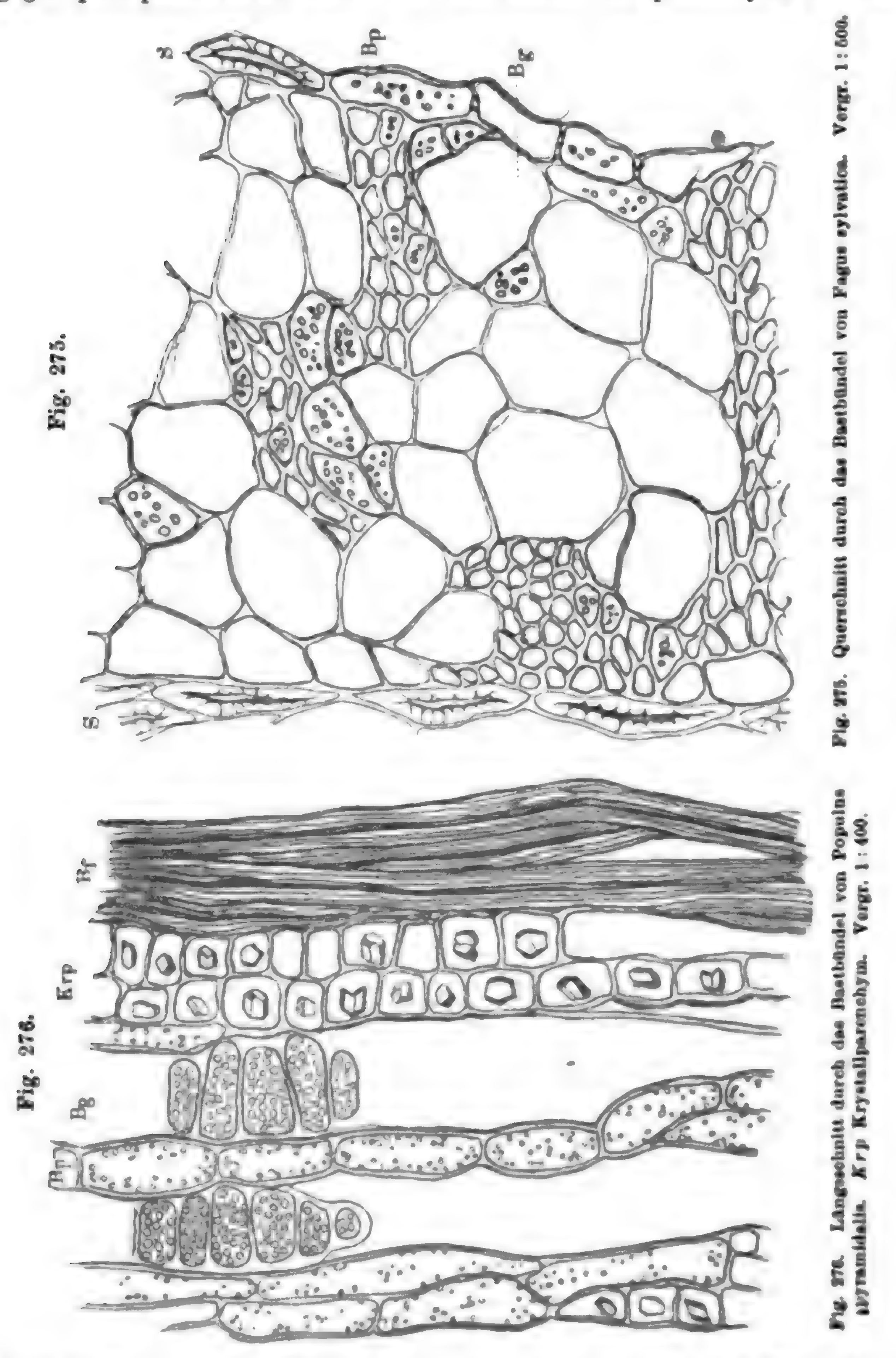


Fig. 275. Querschnitt durch das Bastbündel von Fagus sylvatica. Vergr. 1:500.

Fig. 276. Längsschnitt durch das Bastbündel von Populus pyramidalis. *Krp* Krystallparenchym. Vergr. 1:400.

dann theilweise aus sehr kurzen, neben mehr gestreckten, stärkeführenden auftretenden, bald unregelmässig zerstreuten, bald mehr regelmässig

Digitized by Google

reihenweise angeordneten Zellen besteht (Fig. 276), finden sich in letzteren fast bei allen von mir untersuchten Holzpflanzen ein oder mehrere Krystalle oder einzelne Drusen oxalsauren Kalkes, welche dem monoklinischen oder schiefrhombischen Systeme angehören (Fig. 276, *Krp*).

Fig. 277.

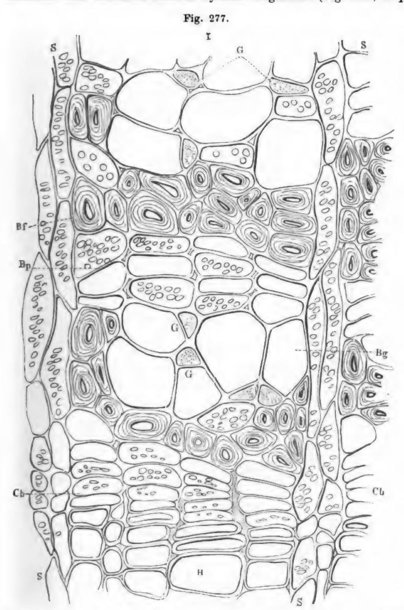


Fig. 277. I Querschnitt durch das Bastbündel von Tilia grandifolia. *Cb* Cambium, *H* Holz, *S* Bündelstrahl, *Bf* Bastfasern, *Bg* Siebröhren, *Bp* Bastparenchym, *G* Geleitzellen. Vergr. 1:600.

Digitized by Google

Fig. 277.
II

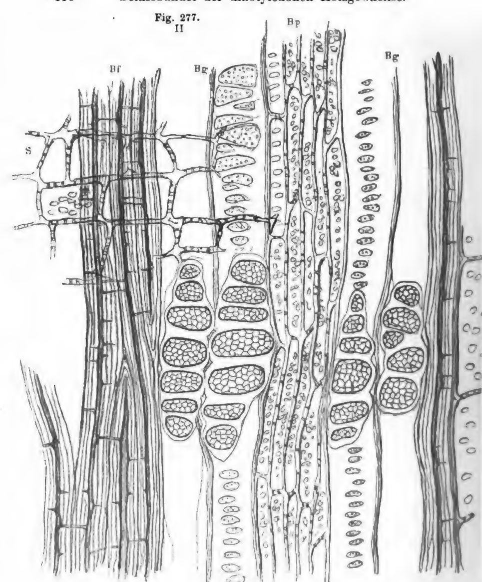


Fig. 277. II Längsschnitt durch das Bastbündel von Tilia grandifolia. Bezeichnung wie bei I. Vergr. 1 : 600.

Nur bei einer einzigen der von mir untersuchten Pflanzen, nämlich bei Styloceros Kunthea, habe ich bis jetzt Krystallformen (Octaëder) des quadratischen Systems gefunden, welche bekanntlich in der Rinde und dem Marke mancher Monokotyledonen (Commelineen, Liliaceen, Orchideen) häufig vorkommen.

Digitized by Google

Stark verdickte und verholzte Parenchymzellen: Steinzellen finden sich in zerstreuten Gruppen radialer Streifen oder tangentialer Bänder bei Betula, Platanus, Laburnum, Fraxinus u. a. (Fig. 274, S. 407). Ueber die Secretbehälter werden wir am Schlusse des Kapitels handeln.

Bastgefässe. — Die Bastgefässe (Siebröhren, Gitterzellen), welche sich von den Parenchymzellen meist durch ihr grösseres Lumen unterscheiden, seltener von gleichem oder kleinerem Durchmesser als letztere erscheinen, und deren Stellung zu dem Gefässbündel und deren Vertheilung in Bezug auf die übrigen Elemente des Bastes man für die histologische Charakterisirung der ausdauernden Gewächse die entsprechende Beachtung zuzuwenden hat, erscheinen in dem eigentlichen Basttheile des Gefässbündels bald mehr unregelmässig, einzeln oder in grösseren Gruppen (Fig. 275, S. 408) durch das Bastparenchym zerstreut (Clematis, Erythrina, Fagus, Acer), bald sind sie in ein- bis mehrreihige tangentiale, häufig einzelne Parenchymzellen aufnehmende Bänder geordnet (Bignonia, Tilia, Vitis etc.) (Fig. 274 und 277).

In einzelnen Familien, z. B. den Asclepiadeen, Apocyneen und Solaneen, tritt vor jedem primären Gefässbündel im Marke ein von Bastparenchym und bei letzterer Familie auch von Bastfasern begleitetes Bündel von Bastgefässen auf (Fig. 278, a. f. S.).

Eine etwas abweichende Stellung nehmen die die Siebröhren bisweilen vertretenden Milchröhren ein, indem sie sich bald neben Siebröhren zerstreut innerhalb des Weichbastes, bald an deren äusseren Grenzen finden, bald sogar in das Rindengewebe hinübertreten (Ficus, Nerium, Periploca etc.). Bei den Caricaarten nehmen sie sowohl ihren Platz zwischen den Gefässen des Holztheiles (Fig. 269, S. 400), als in dem Basttheile und der Rinde, wobei aber durch horizontale, den Markstrahlen parallel verlaufende Seitenäste eine Verbindung der in den verschiedenen Theilen des Gefässbündels vorkommenden senkrechten, auch seitlich mannigfach mit einander anastomosirenden Hauptstämme bewirkt wird.

Ueber den Bau dieses Elementarorganes ist schon S. 282 u. f. mit genügender Vollständigkeit gehandelt und auch hervorgehoben worden, wie sich die Siebporen bald auf den dem Radius (Fig. 277), bald auf den dem Umfange (Fig. 279, S. 413) zugewendeten Seiten finden und in welcher Art der Einfluss der angrenzenden Zellenarten in dieser Beziehung sich geltend macht. Es bleibt hier nur noch hinzuzufügen, dass die Seitenwände überall da ohne Siebporen bleiben, wo die Bastgefässe an Bastfasern oder glattwandiges Bastparenchym (Cambiform) angrenzen, dass sich dagegen bei Berührung mit porösem Bastparenchym die Gitterporen ebenso einfinden, als auf jenen Seiten, wo die Bastgefässe an einander grenzen, und dass sich dort die Grösse und Anordnung der Poren nach jenen des Parenchyms richtet.

Der Inhalt der Bastgefässe besteht meist aus protoplasmatischen Substanzen, nach Briosi, mit sehr kleinen Stärkekörnchen untermischt.

Digitized by Google

Die Entstehung der Bastgefässe ist im Allgemeinen auf das Cambium beschränkt und lässt sich dieselbe sowohl in der Knospe, als auch

Fig. 278.

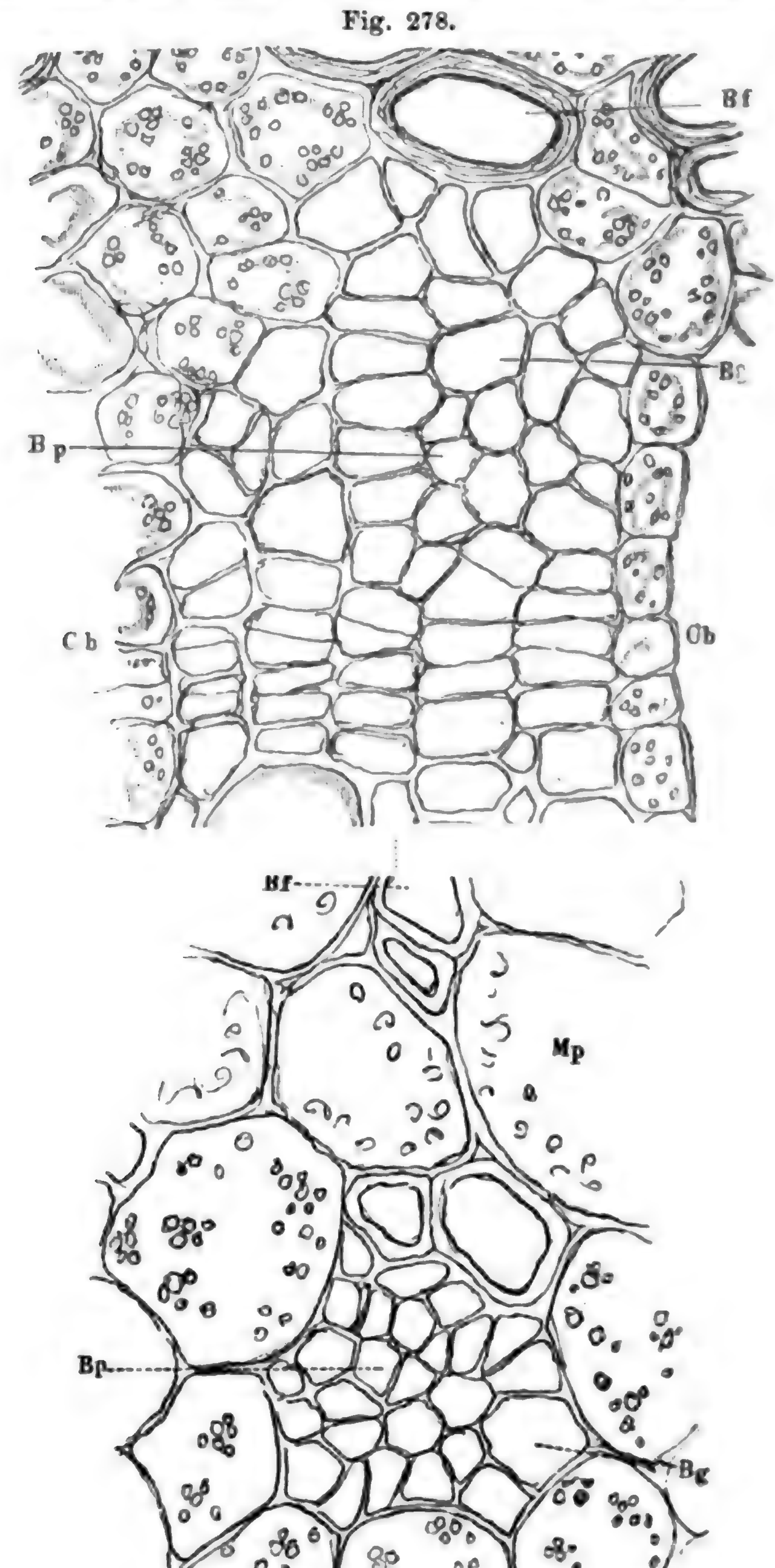


Fig. 278. Querschnitt durch das Gefässbündel von Brugmannsia suaveolens mit markständigem Bastbündel. *Mp* Markparenchym. Vergr. 1 : 400.

Digitized by Google

in dem Cambium der vegetirenden Achsentheile verfolgen. Die ungegliederten Milchröhren gehen, wie ich es für die vereinzelt und ohne Verbindung mit dem Gefässbündel in der Rinde und dem Marke vorkommenden nachgewiesen habe, direct aus dem Urparenchym hervor,

Fig. 279.

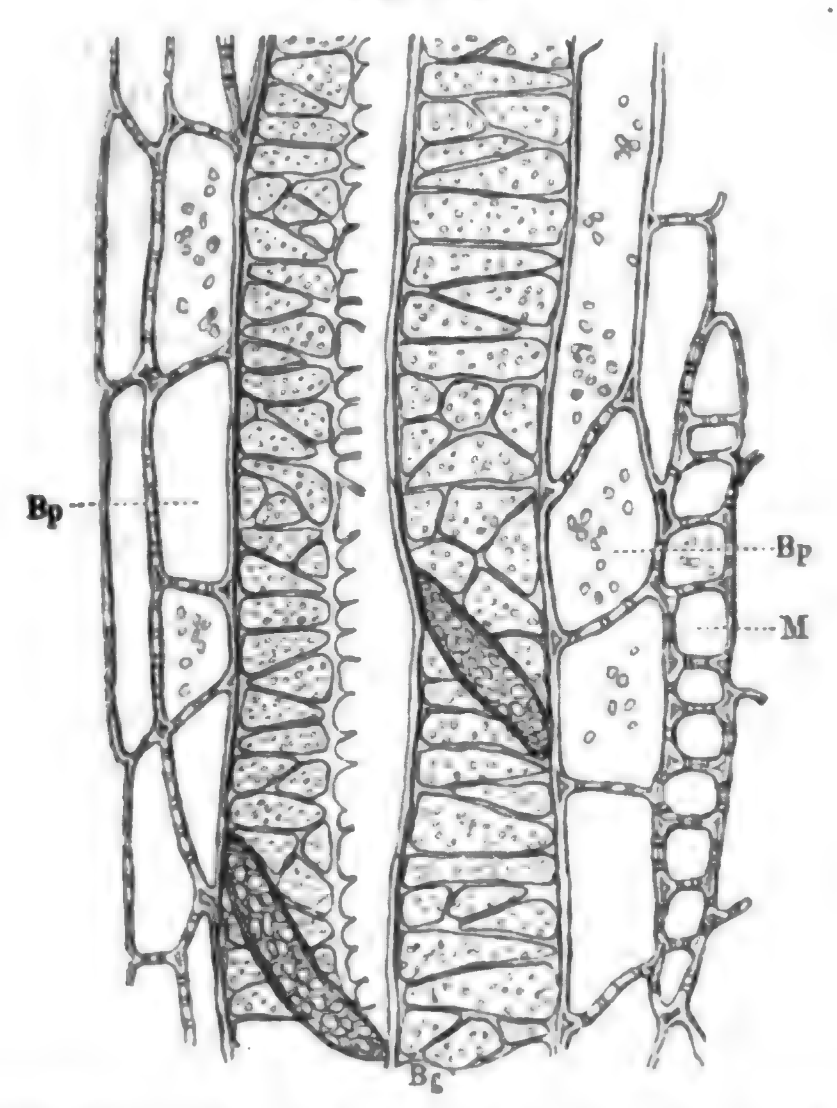


Fig. 279. Tangentialer Längsschnitt durch den Basttheil von Fagus sylvatica. *Bp* Bastparenchym, *M* Markstrahl. Vergr. 1 : 500.

indem sich die betreffenden Zellen, in denen die Quertheilung aufhört, während des Wachsthums der betreffenden Pflanzentheile bedeutend in die Länge strecken. Ob hier, wie es bei den gegliederten Milchröhren der Fall ist, noch ausserdem eine Verschmelzung mehrerer Zellen zu einer einzigen längeren Röhrenzelle vorkommt, möchte ich weder widersprechen, noch behaupten.

Bastfasern. — Die Faserzellen des Basttheiles: Bastfasern, Bastzellen, welche nur bei einer geringen Anzahl von Holzgewächsen, wie Ribes, Viburnum Lantana, Berberis vulgaris u. a., fehlen, gehen gleich denen des Holzkörpers aus dem Cambium, und zwar aus dessen nach der Rinde gewendeten Seite hervor. Man kann ihre Entstehung daher gleichzeitig mit jener der Holzfasern, Holzgefässe etc. verfolgen. In der Mehrzahl der Fälle wird man sich davon überzeugen können, dass sie

Digitized by Google

unmittelbar aus den Zellen des Cambiums hervorgehen. Es giebt indessen wohl auch Fälle, wo dieselben, wie von Schacht angegeben wurde, durch Verschmelzung mehrerer cambialen Zellen gebildet werden. Letzteres scheint manchmal da der Fall zu sein, wo das Cambium verhältnissmässig kurze Zellen hat, während die Bastzellen einen sehr bedeutenden Längendurchmesser besitzen (Carica papaya und microcarpa). Indessen können auch, ebenso wie durch — der bei dem Parenchym beschriebenen ähnliche — Quertheilungen der Mutterzellen aus langen Cambiumzellen kurze Bastfasern zu entstehen vermögen, aus verhältnissmässig kurzen Cambiumzellen sehr lange Bastfasern direct hervorgehen, indem deren Längenwachsthum jenes der übrigen Elemente des Gefässbündels bedeutend überwiegt.

Die Form der Bastfasern unserer ausdauernden Gewächse ist in der Regel eine rein spindelförmige. Nur in selteneren Fällen nähert sich dieselbe, und zwar wohl meist in Folge der oben berührten Entstehungsweise, dem langgestreckten Parenchym, indem bei verhältnissmässiger Kürze an Stelle der endlichen Zuspitzung entweder an einem Ende oder an beiden Enden geneigte oder nahezu horizontale Querscheidewände auftreten, so z. B. bei einem Theil der Bastfasern von manchen Cacteen (Fig. 280, I, *A* u. *B*) und Euphorbien, von Datura suaveolens. Verzweigte Bastzellen treten namentlich bei den Asclepiadeen und Apocyneen, und zwar am häufigsten in deren Blättern auf (Hoya, Vinca) (Fig. 65, VI, S. 128), während die des Stengels meistens unverzweigt sind, sich aber durch ihre eigenthümliche, stellenweise bauchig angeschwollene und dann wieder oft bis zum Verschwinden des Lumens verengte Form auszeichnen (Fig. 168, I u. II, S. 258). Kürzere sowohl als längere gefächerte, den gefächerten Holzfasern ähnliche Bastfasern (Fig. 280, II, *A* u. *B*) habe ich bis jetzt nur bei den Cacteen, bei Vitis vinifera und Sambucus racemosa gesehen, während sie von Sanio auch noch an anderen Gewächsen beobachtet wurden.

Die Wanddicke der Bastzellen ist mit Ausnahme weniger Pflanzen (Urtica, Vitis, hier und da bei Ficus elastica und den Solaneen) sehr bedeutend, indem die secundären Verdickungsschichten mächtig entwickelt erscheinen. Diese letzteren lassen fast immer eine deutliche Schichtung erkennen, die um so entschiedener hervortritt, je grösser der Querdurchmesser der betreffenden Zellen und je stärker die secundären Schichten entwickelt sind. Auf dem Querschnitte sowohl als auf dem Längsschnitte, auf dem man bei einzelnen Pflanzen, z. B. Datura suaveolens, oft eigenartige stellenweise Verengerungen des Hohlraumes beobachten kann (Fig. 280, II, *C*), erscheinen die letzteren häufig von einfachen oder verzweigten Porencanälen durchbrochen, welche bei einigen Pflanzen minder zahlreich, bei anderen dagegen sehr zahlreich auftreten (Clematis, Datura suaveolens etc.). Die Poren selbst, welche sich bald allseitig, bald nur auf den den Markstrahlen zugewendeten Seiten finden, sind unbehöft, meist spaltenförmig rechtsläufig schief gestellt, oft der senkrechten Achse

Digitized by Google

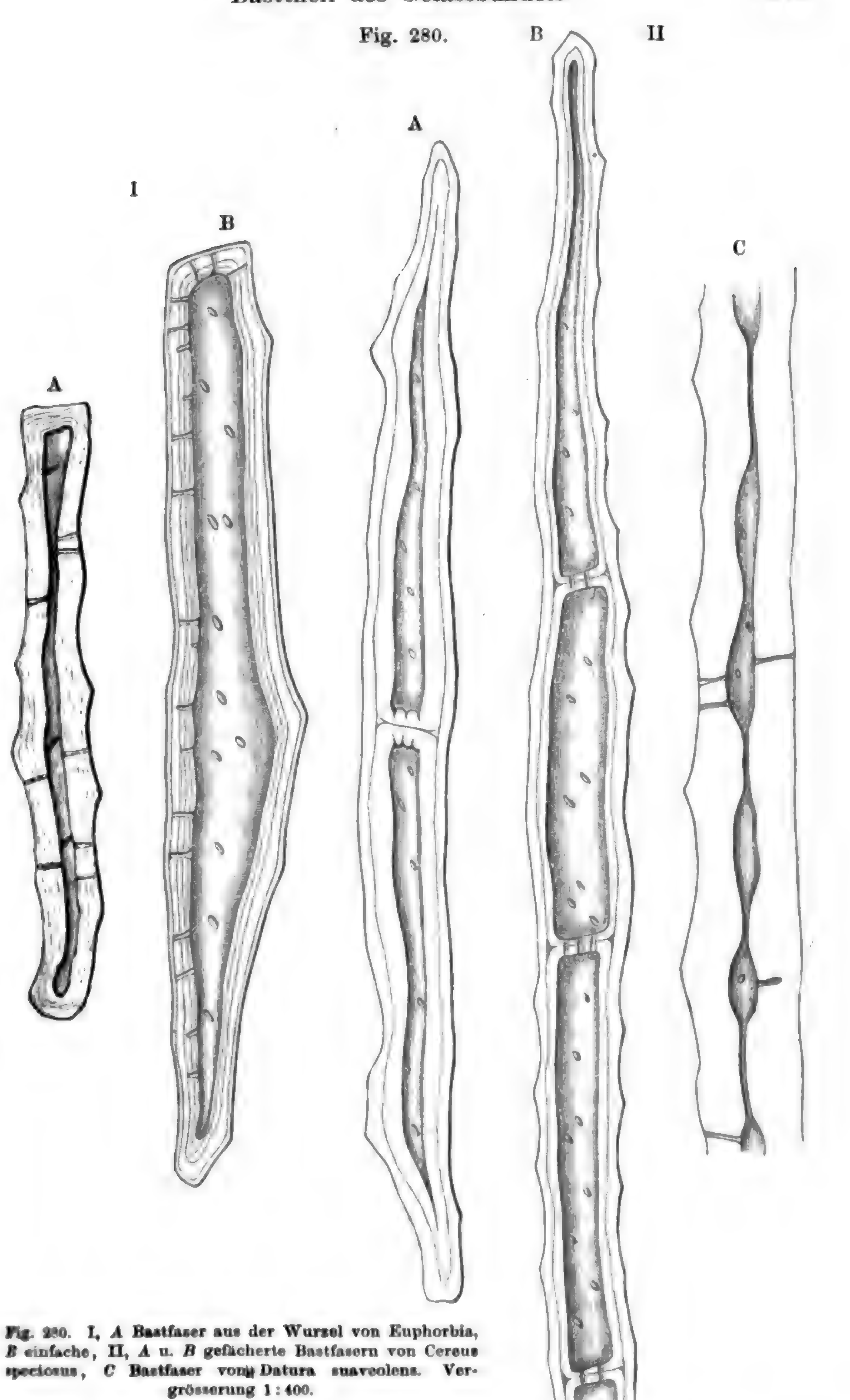


Fig. 280. I, *A* Bastfaser aus der Wurzel von Euphorbia, *B* einfache, II, *A* u. *B* gefächerte Bastfasern von Cereus speciosus, *C* Bastfaser von Datura suaveolens. Vergrösserung 1 : 400.

Digitized by Google

der Zelle fast parallel. Neben dieser Verdickungsform kommen auch die schon bei den Holzzellen erwähnten spiraligen Streifen vor, welche häufig in verschiedenen Richtungen verlaufen (Datura suaveolens) und namentlich nach der Behandlung mit chlorsaurem Kali und Salpetersäure, mit beinahe concentrirter Schwefelsäure, oder selbst mit Chlorzinkjod deutlich hervortreten. Eine sehr scharf ausgeprägte spiralige Anordnung der secundären Verdickungsschichten, welche je nach ihrer Lage in verschieden alten Schichten bald einen links aufsteigenden, bald einen rechts aufsteigenden Verlauf nehmen und so die weiter oben S. 151 u. 258 näher beleuchtete, zierlich rhombenförmige Zeichnung hervorrufen, beobachtet man bei Asclepiadeen und Apocyneen (Vinca, Sarcostemma, Nerium Oleander).

Die chemische Beschaffenheit der Verdickungsschichten und der Grad ihrer Verholzung wechselt bei den Bastfasern nicht minder, als bei den Holzfasern. Ganz unverholzte, d. h. durch ihre sämmtlichen, wie aus dem Verhalten gegen die Pectinstoffe anzeigenden Färbeflüssigkeiten — namentlich Rutheniumroth — hervorgeht, aus reinem Zellstoff bestehende Schichten mit Chlorzinkjodlösung sich violett, mit Jod und Schwefelsäure sich blau färbende Bastfasern habe ich nur bei den Asclepiadeen und Apocyneen gefunden. Andere Gewächse (Cytisus Laburnum, Ficus, Acer etc.) besitzen dagegen verholzte Primärwände, während die secundären ganz oder zum Theil, ebenso die Innenwand unverholzt bleiben und die eben erwähnte Reaction liefern. Hier unterscheiden sich die letzteren auch in ihrem optischen Verhalten schon deutlich von der primären Wand, von der sie scharf abgesetzt erscheinen, durch ihr gallertartiges Aussehen. In der Mehrzahl der Fälle sind sämmtliche Verdickungsschichten vollständig verholzt und färben sich nach der Anwendung der oben genannten Reagentien lichter oder dunkler gelb bis gelbgrün. Mögen nun aber die Bastfasern nicht, theilweise oder durch alle ihre Schichten verholzen, immer bleibt denselben ein gewisser Grad von Zähigkeit und Geschmeidigkeit eigen, wodurch sie sich von den starren Holzfasern unterscheiden.

Die Anordnung der Bastfasern in dem Gefässbündel wechselt mannigfach. Bei manchen Pflanzen (Fagus, Betula, Alnus, Platanus, Cornus, Viscum, Viburnum Opulus, oxycoccus u. a., Nerium etc.), die nur ein primäres Bastfaserbündel entwickeln, bilden dieselben kleinere oder grössere zusammenhängende Gruppen, welche auf der Grenze des Basttheiles gegen die Rinde stehen und seitlich durch die nach dieser Seite sich häufig stark verbreiternden Mark-Rindenstrahlen getrennt werden; bei anderen, welche alljährlich oder doch mehrmals während ihres Lebens sämmtliche Elemente des Bastes nachbilden, bilden sie radial angeordnete ein- bis mehrzellige Reihen (Clematis, Vitis, Sparmannia, Weidenarten, Fig. 262, *B''*, S. 390), oder grössere gleich geordnete Gruppen (Tilia, manche Acerarten, Pterocarya caucasica, Bignonia, Fig. 277, I und II, S. 409 u. 410), welche seitlich durch Strahlengewebe (Zwischengewebe),

Digitized by Google

in radialer Richtung aber durch zwischentretende Lagen von Bastparenchym und Bastgefässen (Siebröhren) getrennt werden. In manchen Fällen trifft man auch zu grösseren oder kleineren unregelmässigen Gruppen vereinigte oder ganz vereinzelt in dem Basttheile zerstreute Bastfasern (Cinchona, Morus, Ficus elastica, Celtis, Berberis aquifolium, Asclepias, Hoya, Datura suaveolens).

Der Inhalt der Bastfasern besteht für den grösseren Theil der Dikotyledonen in der Jugend aus einem protoplasmatischen körnigen Safte, in späterer Zeit aus Luft. Auch in den gefächerten Bastfasern habe ich bis jetzt keine Reservestoffe gefunden. Die Bastfasern der Asclepiadeen und Apocyneen dagegen führen auch noch dann, wenn sich ihre Verdickungsschichten schon abgelagert haben, einen eigenthümlichen grünlichen Saft, den man lange Zeit für den eigentlichen Milchsaft dieser Pflanzen gehalten hat. Jener Inhalt ist indessen, wie ich in meiner Niederländischen Preisschrift nachgewiesen habe, keineswegs mit dem in den Milchröhren enthaltenen Milchsafte identisch und verschwindet in älteren Zweigen, sowie in dem Stengel bis auf einige eingetrocknete Reste oder auch ganz und wird durch Luft ersetzt.

Für die Untersuchung der bei dem Baste in Betracht kommenden Verhältnisse ist die Anfertigung recht zarter Schnitte zu empfehlen. Der Querschnitt wird hier oft schon hinreichende Auskunft über die Vertheilung der Bastgefässe zwischen den übrigen Zellenarten des Basttheiles gewähren, namentlich da, wo sich dieselben durch ein verschiedenes Lumen, oder durch horizontale, gegitterte Querscheidewände von diesen hinreichend unterscheiden. Wo dieser nicht ausreicht, da giebt der Radialschnitt dann weitere Anhaltspunkte. Zum Studium der Verdickungsform der Seitenwände sind immer die bekannten zwei Arten von Längsschnitten erforderlich, von denen die einen parallel, die anderen senkrecht zu dem Strahlengewebe geführt werden, und eignen sich dieselben zur Erkenntniss der Einzelheiten im Baue weit mehr, als Macerationspräparate, namentlich solche, welche mittelst des Schultz'schen Gemisches gewonnen sind. Durch die chemische Behandlung werden nämlich die betreffenden Organe so durchsichtig, dass es ohne Färbung häufig sehr schwer hält, sich ganz klar über deren Configuration zu unterrichten.

Zur augenfälligen Differenzirung der an dem Aufbau theilnehmenden Elementarorgane eignen sich die in den schon früher erwähnten Weisen ausgeführten Doppelfärbungen.

Strahlengewebe (Zwischengewebe).

Das Strahlengewebe (Zwischengewebe, Markstrahlen der Autoren) tritt entweder zwischen dem primitiven Gefässbündel in Form von schmäleren oder breiteren (Fig. 281, S', a. f. S.), wenig- bis mehrreihigen, oder innerhalb dieser letzteren (Fig. 281, S'') in Form

Digitized by Google

von meist ein- bis wenigreihigen, seltener mehrreihigen, in radialer Richtung verlaufenden Zellreihen auf.

Im ersteren Falle geht es in seinen ersten Anfängen unmittelbar aus dem Gewebe hervor, welches die primären Cambiumbündel (Procambium) von einander scheidet, und wird in der Folge durch den aus diesem

Fig. 281.

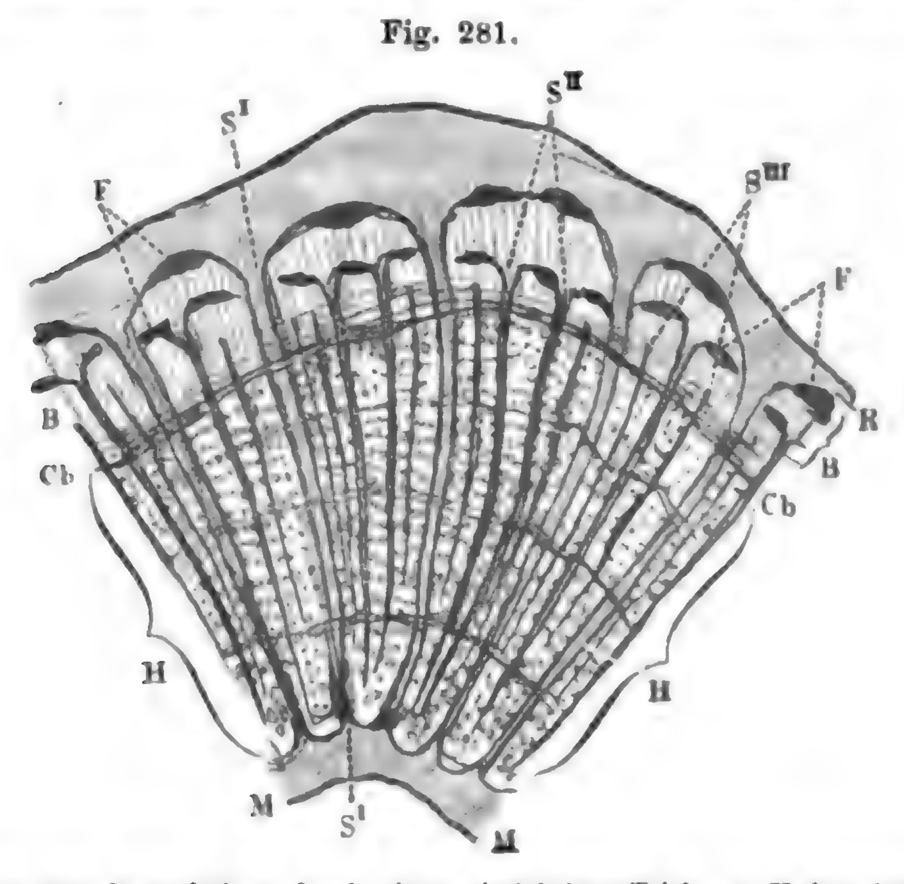


Fig. 281. Theil eines Querschnittes durch einen vierjährigen Trieb von Hedera helix. *R* Rinde, *B* Bastbündel, *F* Faserzellengruppen des letzteren, *Cb* Cambium, *H* Holz, *M* Mark, S^{I} Markrindenstrahlen, S^{II} primäre, S^{III} secundäre Bündelstrahlen. Vergr. 1 : 20.

hervorgehenden, mit dem Cambium der Gefässbündel in Verbindung stehenden Cambiumring mittelst — mit dem Dickenwachsthume des Stengels in Verhältniss stehender — tangentialer Theilungen der betreffenden Mutterzellen fortgebildet. Es reicht hier von dem Marke aus bis zur Rinde, hält so die primitiven Gefässbündel getrennt, und darf füglich bloss hier den Namen Markstrahlen oder besser Mark-Rindenstrahlen führen. Im anderen Falle nimmt dasselbe seinen Ursprung stets aus dem Gefässbündelcambium, und zwar zunächst durch Quertheilung der betreffenden cambialen Mutterzellen. Die weitere Fortbildung geschieht dann in der gleichen Weise, wie bei den Mark-Rindenstrahlen, durch tangentiale Theilungen der aus dem Cambium hervorgegangenen Tochterzellen. Hier bezeichnet man das Zwischengewebe passend mit dem Namen Bündelstrahlen, und unterscheidet zwischen primären Bündelstrahlen, welche schon in den primitiven Bündeln entstanden sind (Fig. 281, S^{II}), und secundären Bündelstrahlen, welche erst in den nachgebildeten Holz- und Basttheilen auftreten (Fig. 281, S^{III}). Durch die Bündelstrahlen werden Holz- und Basttheil in schmälere, mehr oder minder tief in deren Körper hineinragende, keilförmige Bündel zer-

Digitized by Google

klüftet, was bei dem ersteren immer mit voller Klarheit hervortritt, bei dem letzteren dagegen nur da sich deutlich und bestimmt bemerkbar macht, wo derselbe gegen jenen nicht allzu sehr in seiner Massenentwickelung zurückbleibt, so z. B. bei Clematis, Vitis, Tilia, Aristolochia, Bignonia u. s. w.

Die Mark- und Bündelstrahlen der dikotyledonen Holzpflanzen bestehen immer aus Parenchymzellen, welche meist eine in radialer Richtung stark in die Länge gezogene Gestalt besitzen, während sowohl der tangentiale als der axiale Durchmesser bedeutend verkürzt erscheinen, so dass sie auf dem Längsschnitte ein mauerförmiges Gewebe bilden. Nur an den Stellen, wo die Markstrahlen in das Mark- und Rindengewebe übergehen, erscheinen mehr isodiometrische Zellen, welche dem ursprünglichen, unmittelbar aus dem Urgewebe hervorgegangenen Scheidegewebe der Cambiumbündel, respective der primitiven Gefässbündel angehören.

Die Verdickung der Zellwand ist in dem Basttheile des Gefässbündels mit wenigen Ausnahmen schwach, im Holztheile in der Regel nur mässig; hier und da treten aber auch hier nur schwächere (Cacteen) oder stärkere (Clematis, Fagus etc.) secundäre Verdickungsschichten auf. In dem Basttheile bleiben die Zellwände des Zwischengewebes unverholzt; in dem Holztheile erscheinen dieselben in dem ersteren und letzteren Falle gleich jenen der Holzparenchymzellen verholzt, im zweiten dagegen zeigen sie, mittelst Chlorzinkjod oder Jod und Schwefelsäure behandelt, mehr oder minder reine Zellstoffreaction. Nur in einzelnen Fällen trifft man kleinere oder grössere Partien der Mark-Rindenstrahlen in ein aus sehr dickwandigen, stark verholzten, harten Zellen (Steinzellen) bestehendes Gewebe umgewandelt (Fagus, Betula etc., Fig. 274, S. 407). Von den verschiedenen Verdickungsformen tritt nur die poröse auf, und zwar sind die Poren, mögen die betreffenden Zellen an gleichartige oder ungleichartige Elemente des Gefässbündels grenzen, stets geschlossen.

Der Inhalt des Strahlengewebes wird in der Ruheperiode stets von deutlich ausgebildeten kleineren oder grösseren Stärkekörnern gebildet, während der Wachsthumsperiode enthalten sie dagegen nur in Wanderung begriffene Stärke nebst anderen bildungsfähigen Substanzen. Nur in minder häufigen Fällen finden sich in demselben zu gewissen Zeiten einzelne Krystalle (Rhizophora, Buxus) oder Krystalldrüsen.

Für die Charakterisirung des Gefässbündels und des Baues der Achsenorgane wird der Bau der Mark-Rindenstrahlen, sowie der Bündelstrahlen, welchen man mittelst Quer- und Tangentialschnitten zu verfolgen hat, von hoher Bedeutung. Man hat dabei zunächst ihre Breite, d. h. die Anzahl der Zellenreihen, aus denen sie bestehen, dann ihre Höhe, d. h. ihre Ausmessung parallel der Achse des Gefässbündels, endlich ihre Länge, d. h. ihre Erstreckung in radialer Richtung zu berücksichtigen, und zu untersuchen, in welchem Verhältnisse diese Dimensionen, namentlich für die Mark-, Rinden- und Bündelstrahlen, zu einander in verschiedenen Theilen des Gefässbündels stehen, und wie dieselben sich

Digitized by Google

für dieselben Strahlen in dem Holz- und Basttheile gegen einander gestalten. Um hier auf einige derartige Verhältnisse, auf welche bei der Histologie des Stammes näher einzugehen ist, hinzuweisen, sei nur be-

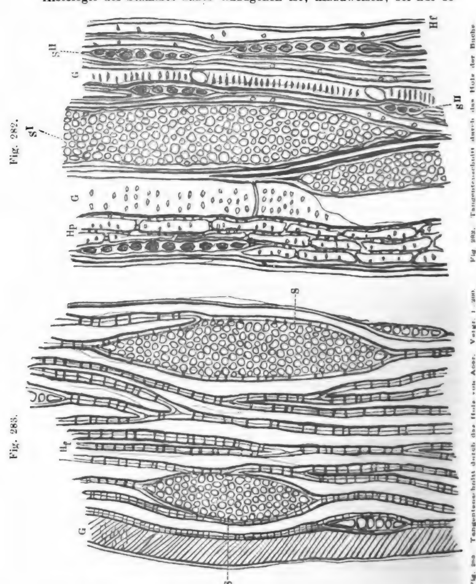


Fig. 282. Tangentenschnitt durch das Holz der Buche

Fig. 283. Tangentenschnitt durch das Holz von Acer. Vergr. 1 : 200.

merkt, dass z. B. Eiche und Buche (Fig. 282) breite, mehrreihige (S^{I}), bei der ersteren höhere, bei der letzteren minder hohe und daneben noch schmale ein- bis zweireihige (S^{II}), der gemeine Ahorn sehr breite, aber niedrige und einreihige, nur vier bis sechs Zellen hohe (Fig. 283), die

Digitized by Google

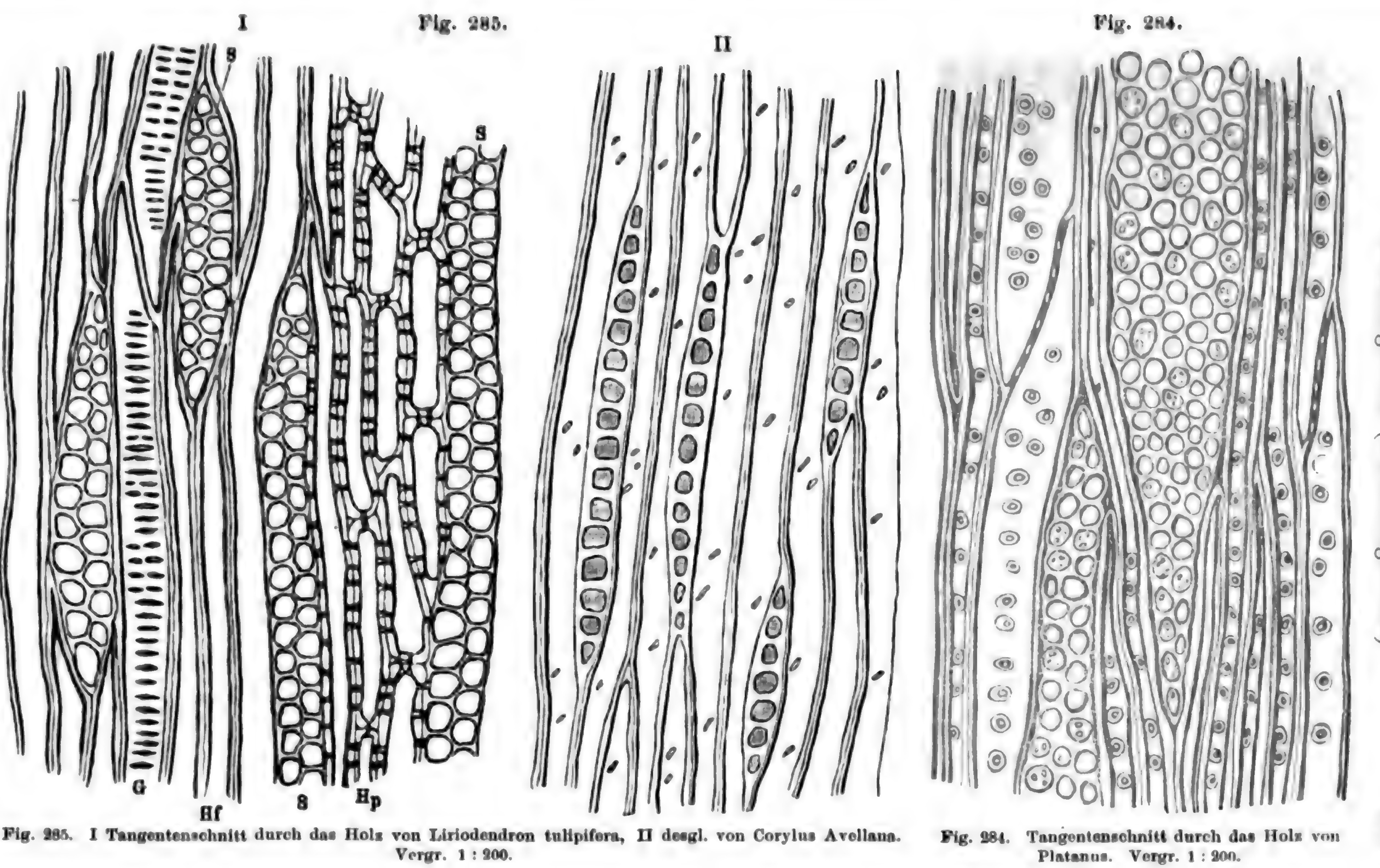


Fig. 285. I Tangentenschnitt durch das Holz von Liriodendron tulipifera, II desgl. von Corylus Avellana. Vergr. 1 : 200.

Fig. 284. Tangentenschnitt durch das Holz von Platanus. Vergr. 1 : 200.

Digitized by Google

Platane fast nur breite, ziemlich hohe, der Tulpenbaum (Fig. 285, I, a. v. S.) zwei- bis dreireihige, höhere und niedrigere, die Hainbuche, die Linde, Birke, Haselnuss (Fig. 285, II) nur schmale ein- bis zweireihige niedrigere oder höhere (Fig. 285) Bündelstrahlen besitzen, und dass z. B. die Mark-Rindenstrahlen bei der Linde, dem Tulpenbaume u. s. w. längs ihres Verlaufes im Holzkörper nur ein-, zwei- bis dreireihig sind, während sie sich zwischen den einzelnen Bastbündeln nach aussen mehr und mehr verbreitern, so dass deren Zellen dort aus der radial gestreckten in eine in tangentialer Richtung gestreckte Gestalt übergehen.

D. Gefässbündel der Gymnospermen (Cycadeen und Coniferen).

Das Gefässbündel dieser Pflanzengruppen stimmt in Bezug auf seine Entstehungsgeschichte und die Heranbildung seiner einzelnen Elemente aus dem Gefässbündelcambium fast vollständig mit dem der Dikotyledonen überein. Dagegen unterscheidet sich dasselbe hinsichtlich des Vor-

Fig. 286.

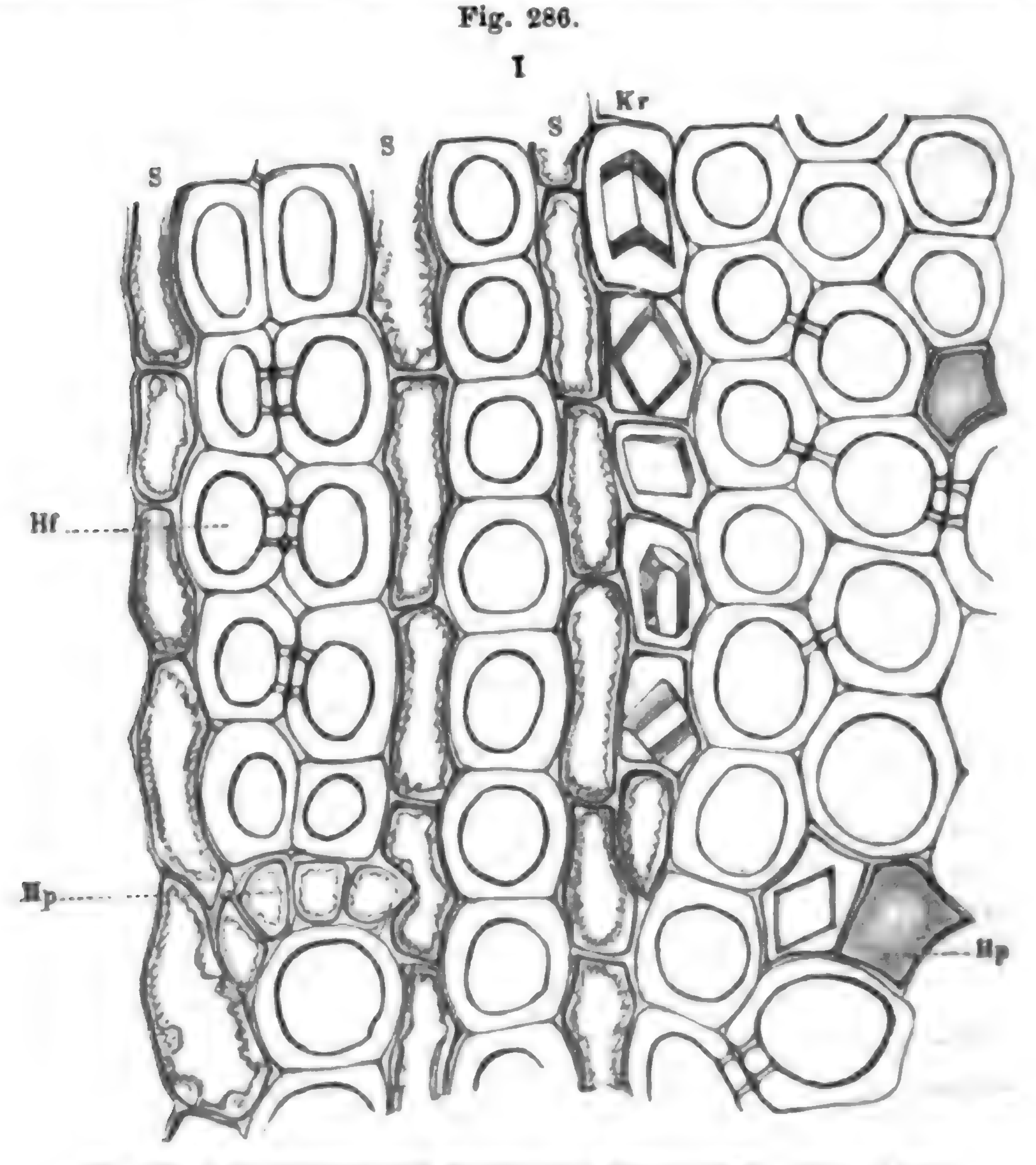


Fig. 286. I Querschnitt durch das Holz von Cycas revoluta. Vergr. 1 : 250.

Digitized by Google

kommens der einzelnen Zellenformen und deren Vertheilung in mannigfacher Weise, so dass sich Holz wie Bast sofort von den gleichen Gewebetheilen der Laubhölzer unterscheiden lassen.

Holztheil.

Holzfasern. — Die Faserzellen, welche bei allen hierher gehörigen Gewächsen die Grundmasse des Holzes bilden, zeigen hier immer deutlich und gross behöfte Poren. Der Hof ist in der Regel kreisrund, seltener wird seine Form elliptisch und nur in einzelnen Fällen, wo dicht neben einander gestellte senkrechte Porenreihen auf derselben Seitenwand

Fig. 286.

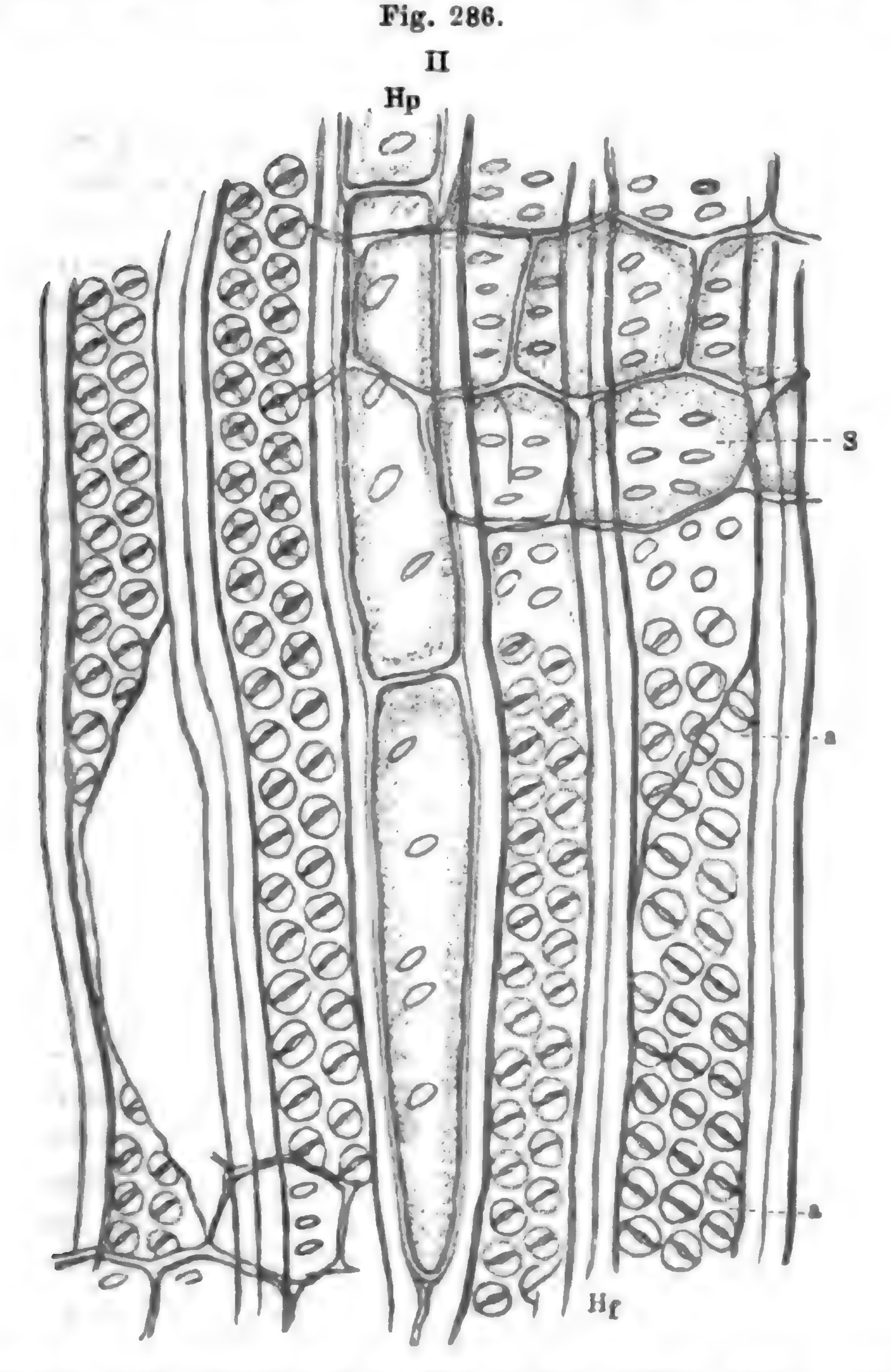


Fig. 286. II Längsschnitt durch das Holz von Cycas revoluta. Vergr. 1 : 250.

Digitized by Google

vorkommen, viel-, meistens sechseckig (Wurzelholz der Araucaria, Holz von Cycas, Dion u. s. w.). Der Porencanal ist bald kreisrund (Pinus), bald ist er mehr oder weniger spaltenförmig (Cycas, Fig. 286, II, a. v. S.), so dass sich die Canäle zweier an einander grenzender Zellen, von oben betrachtet, kreuzen.

Neben der porösen erscheint auch die spiralige Verdickungsform. Auf den inneren Theil der secundären Verdickungsschichte beschränkt — anscheinend der Innenwand angehörig —, tritt dieselbe bei Taxus auf, wo das schmale Spiralband weit von einander abstehende, wenig steil ansteigende, bald rechts-, bald linksläufige Windungen bildet. In den älteren secundären Verdickungsschichten treten nur breitere Spiralbänder auf, welche die sogenannte, schon weiter oben besprochene Streifung hervorbringen. Hier sind die Windungen immer mit den spaltenförmigen Porencanälen gleichlaufend. Besonders schön findet sich diese Structur in den Herbstholzzellen der Fichte, dann in den hier und da vorkommenden, abnorm verdickten Partien des Holzes der Aeste von der Kiefer und der Wellingtonia (s. Fig. 167, VII, S. 257).

Fig. 287.

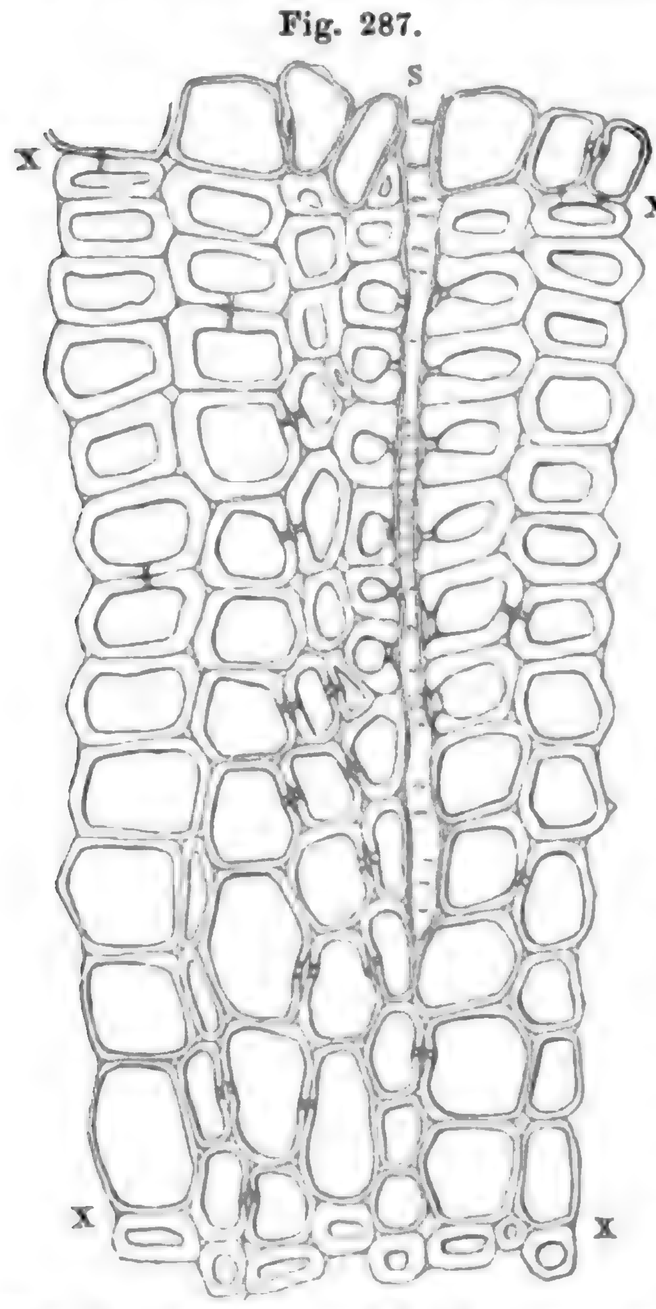


Fig. 287. Querschnitt durch das Holz von Pinus silvestris mit mittelbreitem Jahresringe. x, x Grenze der Jahresringe. Vergr. 1 : 200.

Auf dem Querschnitte zeigen die secundären Verdickungsschichten, welche meist sehr deutlich von der Innenwand abgegrenzt erscheinen, nur undeutliche oder keine, durch stärker und schwächer lichtbrechende Blätter hervorgerufene Schichtung (Fig. 287), und lässt sich eine solche im letzteren Falle auch durch chemische Mittel nicht, wohl aber in manchen Fällen eine Spaltung in gleichartige Blätter hervorrufen, so dass man hier auf eine ununterbrochen vor sich gehende oder periodisch in optisch gleichwerthigen Schichten erfolgende Entwickelung schliessen darf. Die Mächtigkeit derselben wechselt je nach den verschiedenen Gattungen und Arten. Namentlich aber macht sich in dieser Beziehung ein entschieden hervortretender Unterschied zwischen dem Holze des äusseren und inneren Theiles (Herbst- und Frühlingsholz) der Jahresringe der in den gemässigten Zonen wachsenden Nadelhölzer (Pinus,

Digitized by Google

Abies, Picea, Larix, Taxus u. s. w.) geltend, welche ein periodisches Dickenwachsthum erkennen lassen. Die Holzfasern des ersteren verdicken ihre Zellwände oft so stark, dass nur noch ein äusserst geringer Hohlraum übrig bleibt, während jene des letzteren nur eine mässige oder schwache secundäre Verdickung beobachten lassen (Fig. 287). Zugleich macht sich noch ein weiterer Unterschied bemerklich, der die Dimensionen der Zelle trifft. Während nämlich diejenigen des inneren Theiles meist ihren grösseren Durchmesser in radialer Richtung haben, sinkt derselbe bei denen des äusseren Theiles in letzterer oft so bedeutend gegen jene in tangentialer Richtung, dass die betreffenden Zellen ein stark zusammengedrücktes Aussehen annehmen (Fig. 287, *x*, *x*). Auf diesen Verhältnissen beruht denn auch die so entschiedene Ausprägung der Jahresringe unserer einheimischen Nadelholzpflanzen, und sind dieselben bei der histologischen Charakterisirung ihres Holzes im Allgemeinen, sowie der verschiedenen Achsentheile, der Wurzeln, des Stammes, der Aeste auf das Sorgfältigste zu berücksichtigen.

Holzparenchym. — Das Holzparenchym zeigt im Ganzen und Grossen dieselbe Form, dieselbe Entstehungsweise und den nämlichen Bau, wie bei den Laubhölzern. Dasselbe tritt indessen hier niemals so stark verbreitet auf, wie dort. Die Cycadeen besitzen bald vereinzelte, bald kleine Gruppen bildende Holzparenchymzellen (Fig. 286, S. 422 u. 423). Unter den Nadelhölzern fehlt es, soweit meine Beobachtungen reichen, den Araucarineen gänzlich. Bei den Abietineen dagegen scheint es nirgends zu fehlen; allein sein Vorkommen ist ein verschiedenes und

Fig. 288.

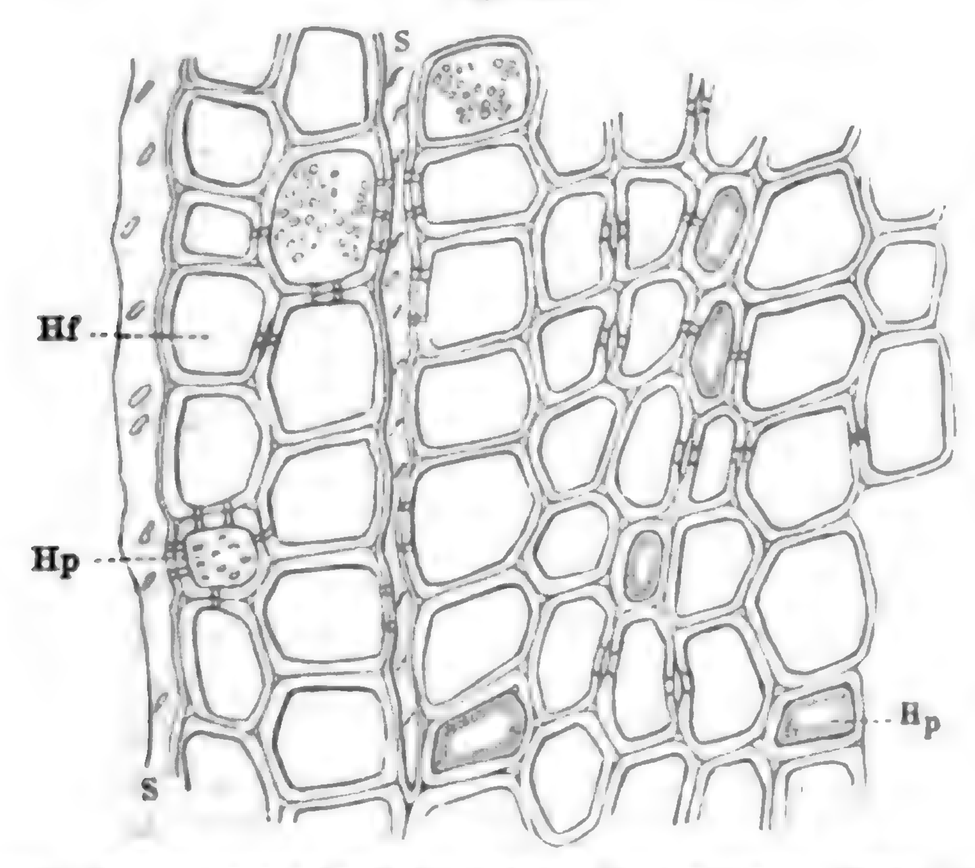


Fig. 288. Querschnitt durch das Holz von Abies pectinata. Vergr. 1 : 400.

Digitized by Google

will beachtet sein. Die Gattung Abies besitzt es meistens als zerstreut im Holzkörper stehende Zellen (Fig. 288, a. v. S.), seltener erscheinen bei ihr grössere Zellgruppen, welche sich im höheren Alter in der Form von Harzgängen bemerklich machen. Die Gattungen Pinus, Picea, Larix lassen niemals zerstreutes Holzparenchym beobachten; dagegen tritt dasselbe bei denselben als Umgrenzung der weiter unten eingehender zu betrachtenden Harzgänge auf (Fig. 289, *Hg* und *Hp*). Unter den

Fig. 289.

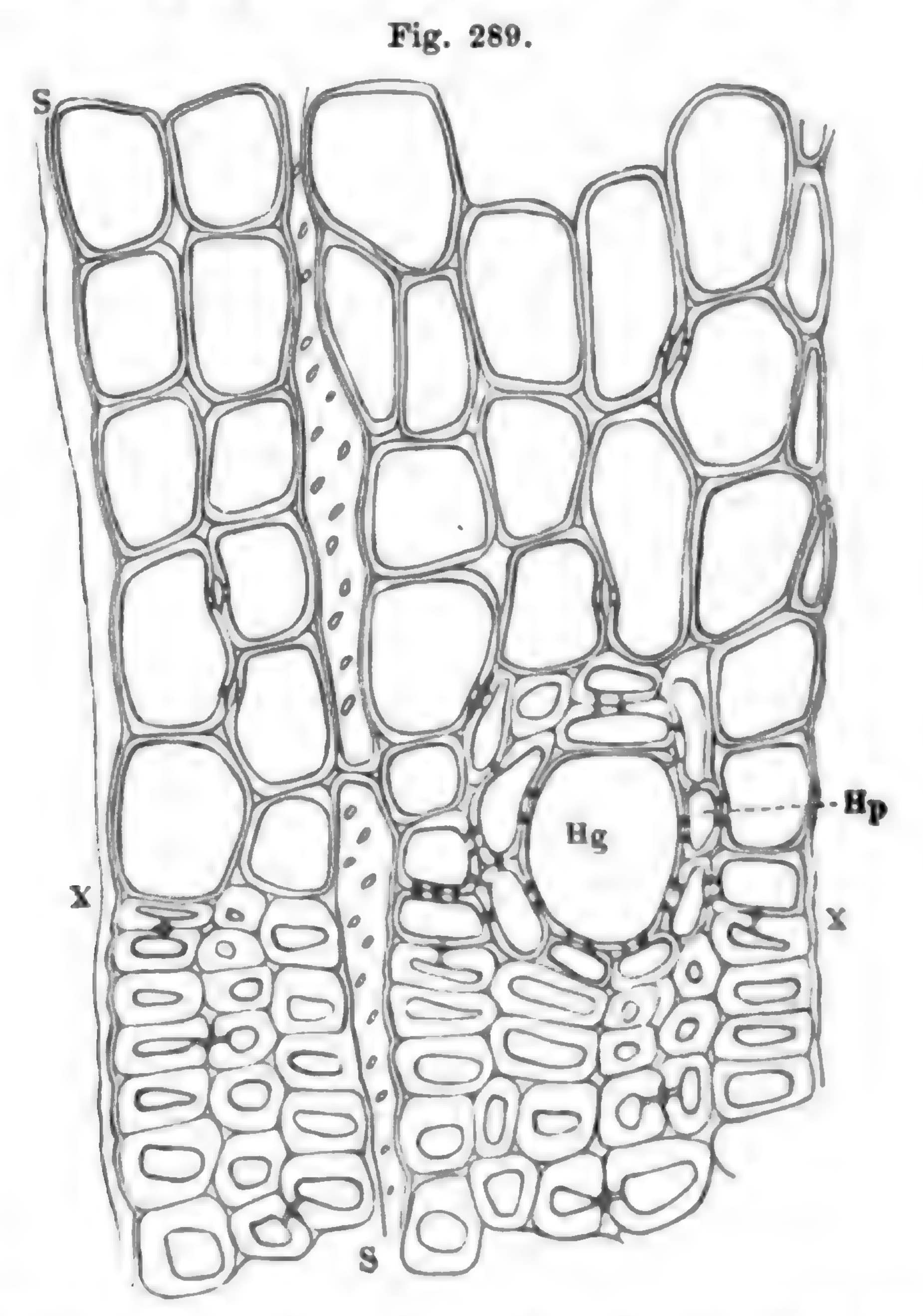


Fig. 289. Querschnitt durch das Holz von Picea vulgaris. *Hg* Harzgang, *Hp* das denselben umgebende Holzparenchym. Vergr. 1 : 400.

Cupressineen und Taxineen besitzen Juniperus, Taxodium, Wellingtonia, und wohl auch alle anderen Gattungen zwischen den Faserzellen einzeln oder zu zweien bis dreien zerstreut stehende Holzparenchymzellen, und bei den Gnetaceen treten dieselben sowohl zwischen den Holzzellen zerstreut, als in der unmittelbaren Nähe der Gefässe auf (Fig. 291, S. 428).

Auf dem Querschnitte zeichnen sich die Holzparenchymzellen namentlich der gefässlosen Nadelhölzer in der Regel durch ihre in radialer Richtung mehr oder minder zusammengedrückte, fast rechteckige Gestalt,

Digitized by Google

sodann durch ihren Inhalt, der entweder aus Stärke oder Balsamharz besteht, vor den Holzfasern aus und lassen sich so in den meisten Fällen leicht erkennen. Schwieriger sind dieselben häufig auf den Längsschnitten aufzufinden. Denn obgleich sie sofort durch ihre Form, wie durch ihren Inhalt hervortreten, muss man doch bei jenen Holzarten, wo sie, wie bei Juniperus, Wellingtonia etc. nur spärlich zerstreut im Holze vorkommen, oft längere Zeit nach ihnen suchen, ja nicht selten mehrere Präparate durchforschen, ehe man sie auffindet. Dickere Längsschnitte mittelst Salpetersäure und chlorsauren Kalis macerirt und dann mittelst der Nadel in ihre Elemente zerlegt, führen hier meistens rascher zum Ziele, als Längsschnitte.

Holzgefässe. — Die Röhrenzellen fehlen keiner Cycadee und keinem Nadelholz in dem primären Holzbündel und stehen an der Grenze des Markes. Sie erscheinen daselbst indessen nur mit ring-, spiral- oder netzförmiger Verdickung, und bilden entweder Ring-, Spiral- oder Netzfaser-Röhrenzellen oder echte Spiral- und Netzgefässe (Fig. 290, *a* bis *f*). In dem älteren Holze der Cycadeen fehlen die Röhrenzellen gänzlich, dasselbe ist der Fall bei allen Nadelhölzern aus den Familien der Abietineen,

Fig. 290.

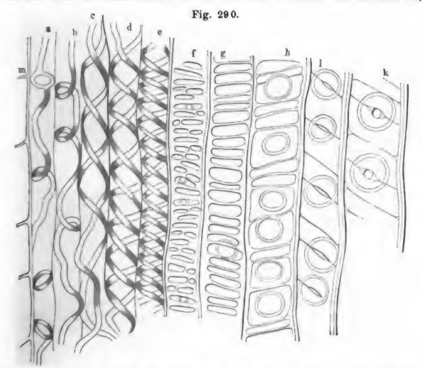


Fig. 290. Längsschnitt durch die Markkrone von Picea vulgaris. *a* bis *e* verschiedene Spiralfasergefässe oder Gefässzellen, *f* bis *i* Uebergänge zu den gewöhnlichen Holzfasern, *k* normale Holzfaser, *m* Markzellen. Vergr. 1 : 400.

Cupressineen, Araucarineen, Taxineen und Podocarpeen. Nur in der Familie der Gnetaceen treten durch den ganzen Holzkörper echte Gefässe

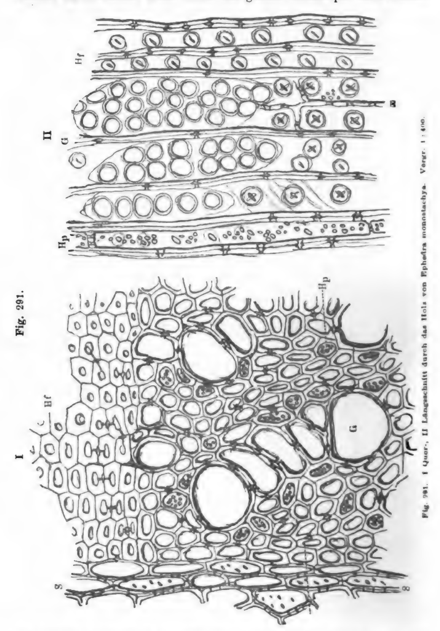


Fig. 291. I Quer-, II Längsschnitt durch das Holz von Ephedra monostachya. Vergr. 1:400.

mit poröser Verdickung auf (Fig. 291, I u. II). Bei Ephedra, wo dieselben nur in dem Frühlingsholze vorkommen, sind deren stark geneigte

Digitized by Google

Querscheidewände je nach der Weite der Gefässe mittelst einer oder mehrerer Längsreihen schmal behöfter, einen weiten Porencanal besitzender Poren (Fig. 291, II), bei Gnetum, wo sie durch den ganzen Holztheil zerstreut erscheinen, mittelst eines einzigen grossen Porus durchbrochen.

Basttheil.

Bastfasern. — Die Bastfasern, welche im Allgemeinen den gleichen Bau besitzen, wie jene der Dikotyledonen, treten bei den Cycadeen

Fig. 292.

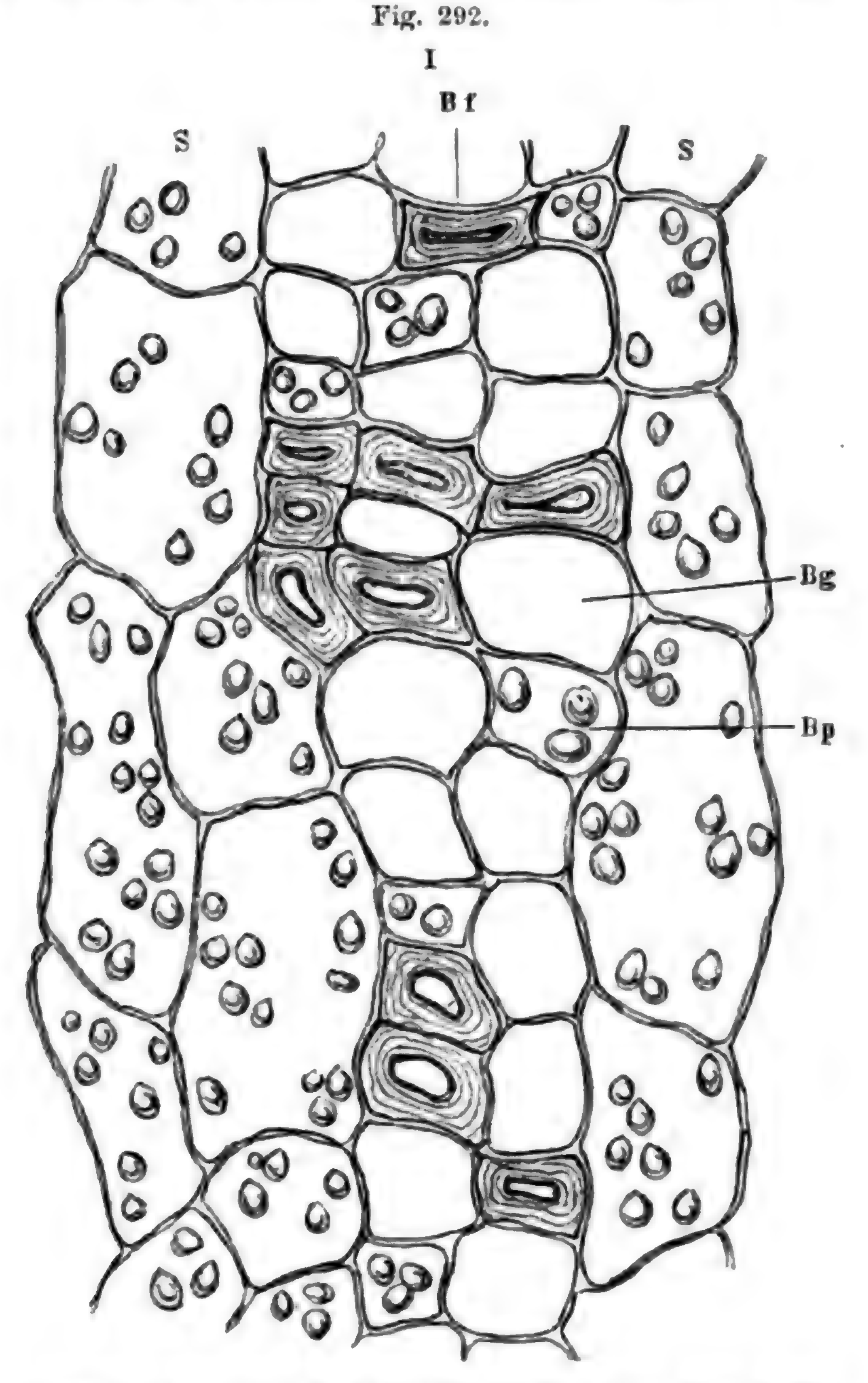


Fig. 292. I Querschnitt durch den Bast von Dion edule. Vergr. 1 : 400.

Digitized by Google

(Cycas, Dion u. a.) in dem Basttheile des Stammes in kleineren und grösseren Gruppen auf, welche durch die Elemente des Weichbastes von einander getrennt werden (Fig. 292, I und II). Bei den Nadelhölzern

Fig. 292.

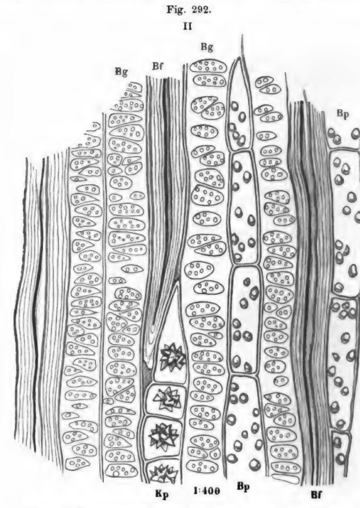


Fig. 292. II Längsschnitt durch den Bast von Dion edule. Vergr. 1 : 400.

fehlen dieselben theils ganz, theils finden sie sich einzeln zwischen den übrigen Elementen zerstreut, theils nehmen sie eine regelmässige Stellung zu diesen ein.

Die Abietineen entbehren in den Gattungen Pinus, Abies und Picea der echten Bastfasern gänzlich (Fig. 297, S. 434). Larix dagegen besitzt zerstreut stehende, sehr stark verdickte, deutlich geschichtete und verhältnissmässig kurze Bastfasern, welche keine genau bestimmte Stellung

Digitized by Google

einnehmen und nur ziemlich vereinzelt vorkommen (Fig. 293). Aehnlich gestaltet sich das Vorkommen bei den Araucarien, wo indessen die Zahl

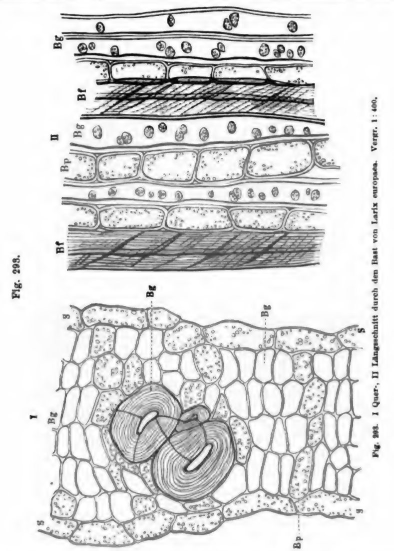


Fig. 293.

Fig. 293. I Quer-, II Längsschnitt durch den Bast von Larix europaea. Vergr. 1 : 400.

dieses Elementarorganes bedeutend grösser ist, als bei der vorhergehenden Gattung.

In dem Basttheile der Cupressineen und Taxineen nehmen die Bastfasern eine genau bestimmte Stellung ein, ohne dass dieselbe indessen eine stets ausnahmslose wäre. Es besteht hier der Bast nämlich aus tangentialen Bändern der radial in Reihen von je fünf Zellen geordneten

Digitized by Google

Bastelemente, wobei die je erste und fünfte Reihe von den Bastfasern eingenommen wird, welche eine in radialer Richtung mehr oder minder zusammengedrückte Gestalt zeigen (Figur 296). Bei Taxus macht sich nebenbei eine eigenthümliche partielle, knötchenförmige Verdickung (Fig. 294, *Bf*) bemerkbar, welche, soweit mir bekannt, bei den übrigen Gattungen der beiden Familien gar nicht oder doch nicht in der Ausdehnung, wie bei jener, wiederkehrt.

Fig. 294.

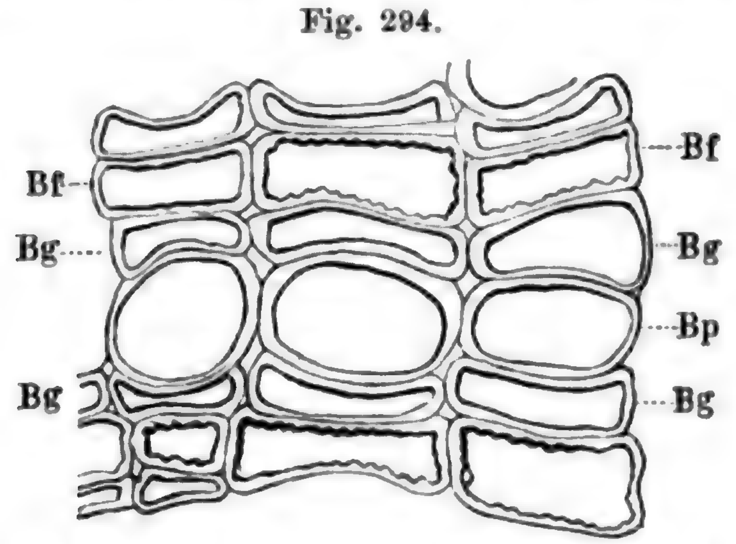


Fig. 294. Theil eines Querschnittes durch den Bast von Taxus baccata. Vergr. 1 : 600.

Die Gnetaceen, welche, soweit ich an dem mir zu Gebote stehenden Material beobachten konnte, nur in der ersten Wachsthumsperiode eine grössere Zahl von Bastfasern bilden, enthalten dieselben in einem grösseren Bündel an der äusseren Seite des in Form eines bei Gnetum flacheren, bei Ephedra convexen Kreisabschnittes in das Rindengewebe hineinragenden Bündels, während die innere Seite von den beiden übrigen mit einander wechselnden Elementen eingenommen wird, zwischen denen bei Ephedra nur vereinzelte Bastfasern in der Art auftreten, dass sie zwischen Parenchymzellen eingestreut erscheinen (Fig. 295).

Fig. 295.

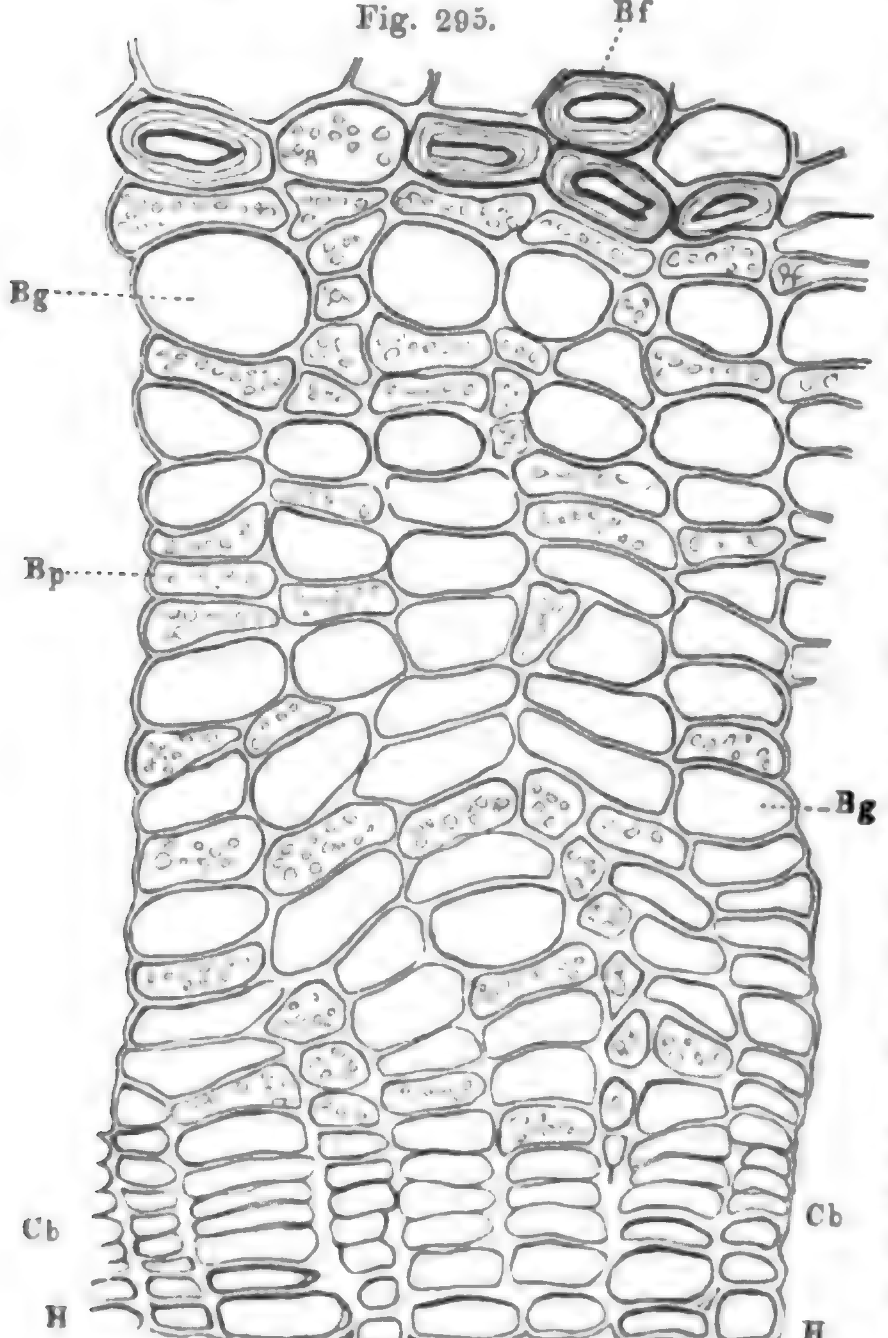


Fig. 295. Querschnitt durch den Bast von Ephedra monostachya. Vergr. 1 : 600.

Digitized by Google

Parenchymzellen. — Das Bastparenchym tritt ausnahmslos bei allen Cycadeen und Nadelhölzern auf. Bei den ersteren wechselt es in den nach aussen und innen von Bastfasern, nach den Seiten von den Markstrahlen begrenzten Gruppen ohne bestimmte Ordnung mit den Bastgefässzellen (Siebröhren) ab (Fig. 292, S. 429). In dem Gefässbündel der Nadelhölzer wird seine Stellung dagegen eine weit regelmässigere, indem sich bei den Abietineen und Araucarineen eine gewisse reihenweise

Fig. 296.

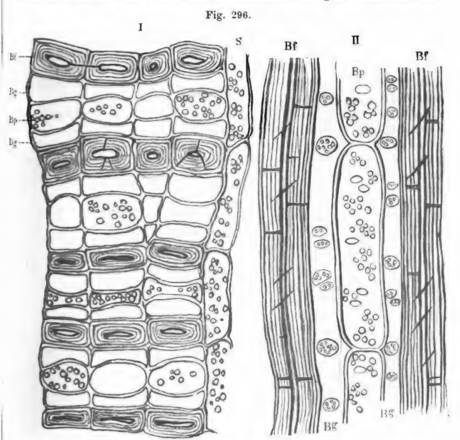


Fig. 296. I Quer-, II Längsschnitt durch den Bast von Juniperus communis. Vergr. 1 : 600.

Anordnung in tangentialer Richtung geltend macht (Fig. 293, S. 431, und Fig. 297), während bei den Cupressineen und Taxineen die zu je einer der Bastgruppen gehörige Parenchymzelle, wenn man von der Faserreihe aus rechnet, die dritte Stelle einnimmt (Fig. 296). Hier trifft es sich jedoch zuweilen, dass je zwei Parenchymzellen in der dritten und vierten Stelle vorkommen, so dass die regelmässige Ordnung etwas geändert wird.

Digitized by Google

Das Bastparenchym führt bei allen hierher gehörigen Pflanzen Stärkemehl, bei Cycas beobachtet man in durch zahlreichere Quertheilungen aus den Cambiumzellen hervorgegangenen kurzen Zellen (Krystallkammern) ausserdem zahlreiche, dem monoklinischen Systeme angehörige Krystalle, bei Dion Krystalldrusen (Fig. 292, II, *Kp*, S. 430) und bei Pinus und Picea, jedoch nur seltener, ebenfalls einzelne, dem genannten Systeme angehörende Krystalle.

Siebröhren. — Die Röhrenzellen erscheinen in dem Gefässbündel der Cycadeen sowohl als der Nadelhölzer in der S. 283, Fig. 186, V, dargestellten Form als den Parenchymzellen in den Querausmessungen nahezu gleichen, dieselben wenig übertreffenden (Cycadeen, Gnetaceen und Abietineen) oder ihnen nachstehenden (manche Cupressineen und Taxineen) siebporigen Röhrenzellen: Siebröhren, Bastgefässzellen. Bei den erstgenannten Pflanzen ist ihre Stellung zwischen den Parenchymzellen eine mehr unregelmässige. Bei den Abietineen dagegen sind sie meist in der Art geordnet, dass radial hinter einander stehende zwei- bis mehrzellige Reihen durch je eine Reihe von Parenchymzellen unterbrochen werden (Fig. 297, I und II). In dem Basttheile der Cupressineen und

Fig. 297. I

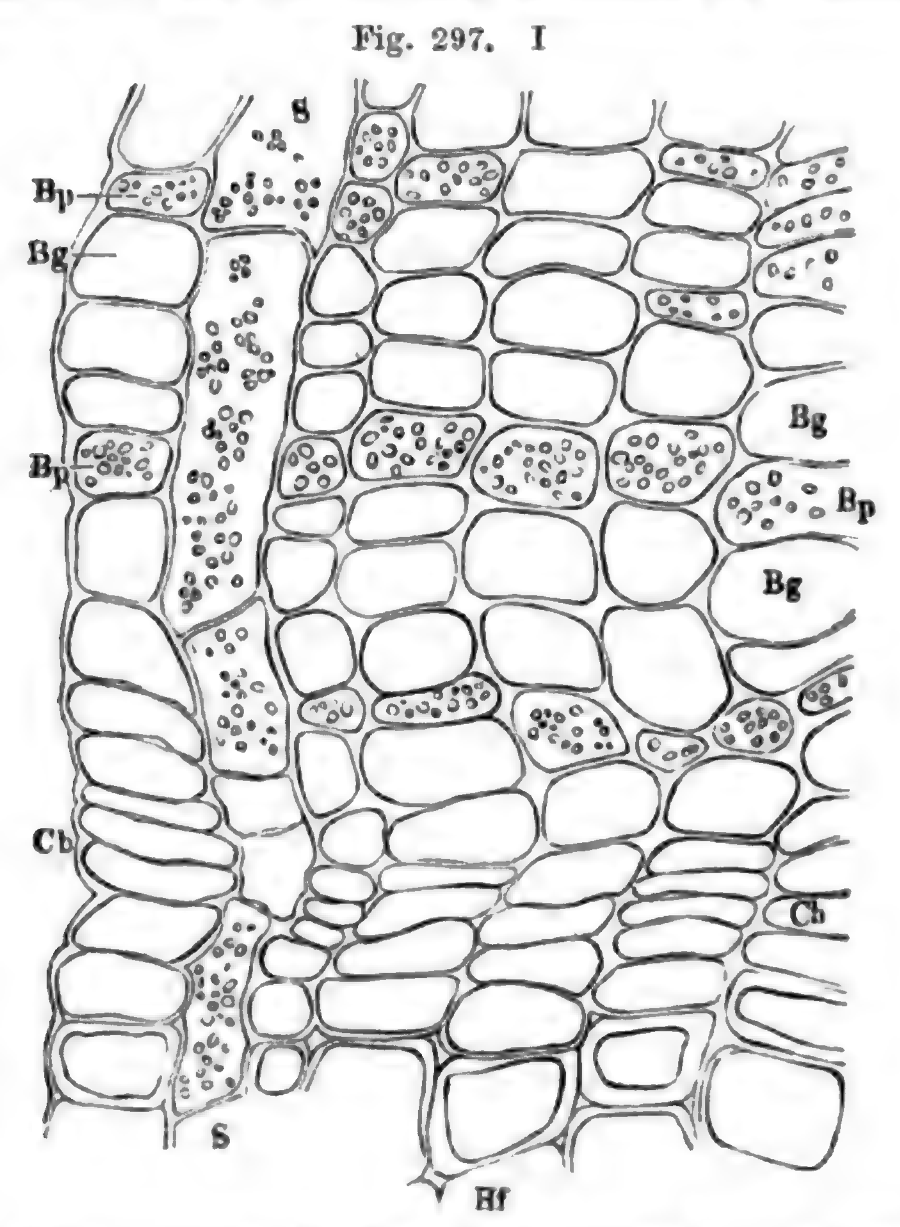


Fig. 297. I Querschnitt durch den jungen Bast von Pinus silvestris. Vergr. 1 : 400.

Digitized by Google

Taxineen ist deren Einordnung, wie bei den übrigen Elementen, eine regelmässige, indem sie in jedem der erwähnten Bänder die je zweite und vierte Stelle einnehmen (Fig. 296, S. 433). Auch hier tritt indessen

Fig. 297.

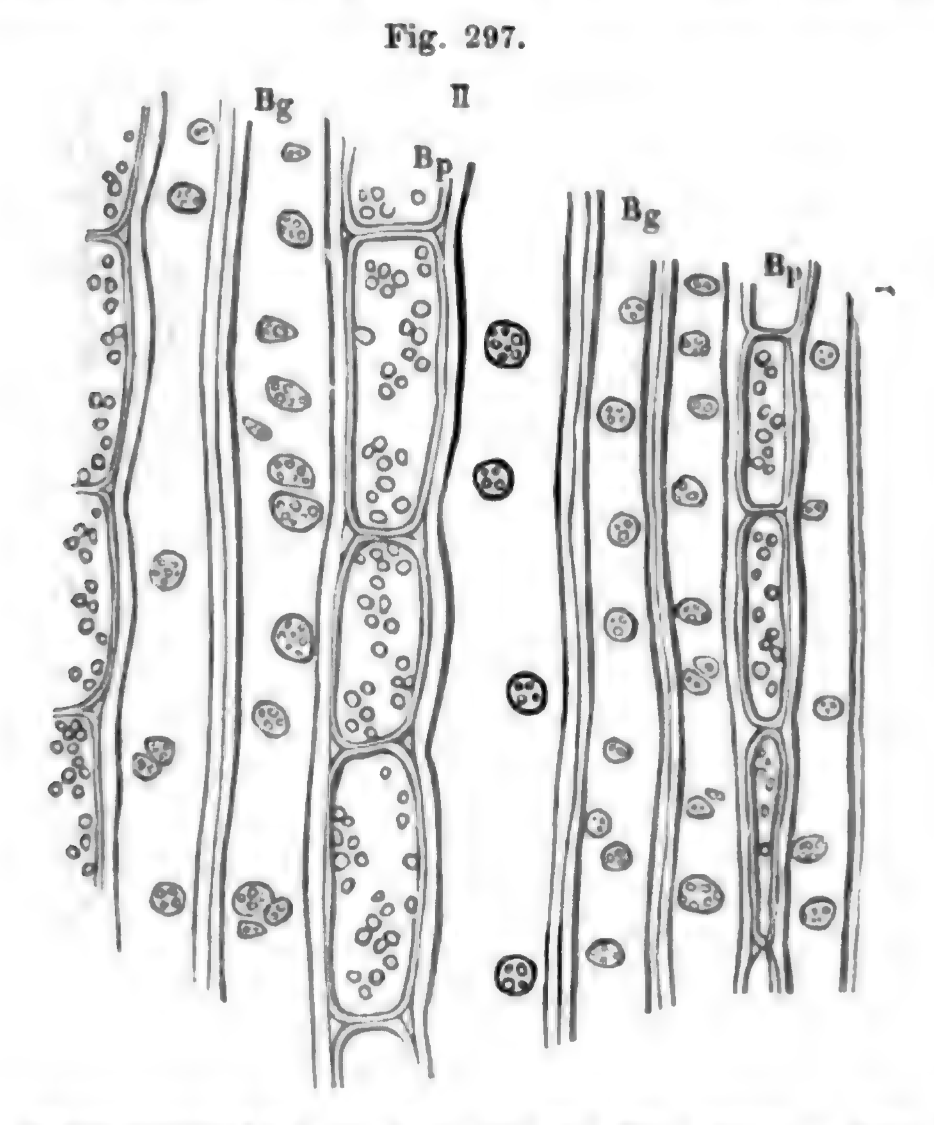


Fig. 297. II Längsschnitt durch den jungen Bast von Pinus silvestris. Vergr. 1 : 400.

manchmal insofern eine Unregelmässigkeit ein, als nach der Parenchymzelle an der dritten Stelle eine Bastgefässzelle, dann an der fünften Stelle eine zweite Parenchymzelle, und an der sechsten Stelle wiederholt eine Bastgefässzelle auftritt, der erst an der siebenten Stelle wieder eine Bastfaser folgt.

Strahlengewebe.

Das Strahlengewebe zeigt bei den Cycadeen und Nadelhölzern in Bezug auf die Entstehung und die sonstigen allgemeinen Verhältnisse ein ähnliches Verhalten, wie bei den Laubhölzern. Bei den ersteren sind sowohl die Mark-Rindenstrahlen, wie die Bündelstrahlen nur schwach verdickt (Fig. 286, S. 422) und verholzen nicht (Cycas, Dion); bei den anderen dagegen ist die Verdickung meist eine mässige, steigert sich selten in höherem Maasse, wobei dann meist auch zugleich Verholzung durch die ganze Zellwand, mit Ausnahme der Porenschliesshäute, eintritt.

Digitized by Google

Die Verdickungsweise der Zwischengewebezellen ist die geschlossen poröse. In der Regel sind die Poren verhältnissmässig kleine (Fig. 298, I); nur die Pinusarten haben in den mittleren Zellenreihen sehr grosse,

Fig. 298.

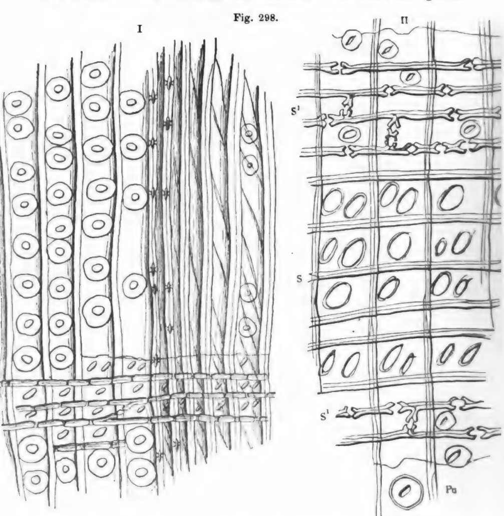


Fig. 298. Radiale Längsschnitte durch das Holz; I von Abies pectinata, II von Pinus silvestris. Vergr. 1 : 400.

meist ovale Poren, während in den oberen und unteren Zellenreihen kleine behöfte und offene Poren auftreten (Fig. 298, II).

Die Mark-Rindenstrahlen der Cycadeen sind mehrreihig, keilen sich aber nach dem äusseren Theile des Holzes aus, um sich in der Rinde wieder zu verbreitern. Gnetum hat mehrreihige, die anderen Nadelhölzer

Digitized by Google

dagegen besitzen, mit Ausnahme der einen Harzgang in ihrer Mitte enthaltenden, bei Pinus, Picea und Larix vorkommenden, mehrreihigen, ein-, höchstens zweireihige Mark-Rindenstrahlen, und es behalten dieselben

Fig. 299.

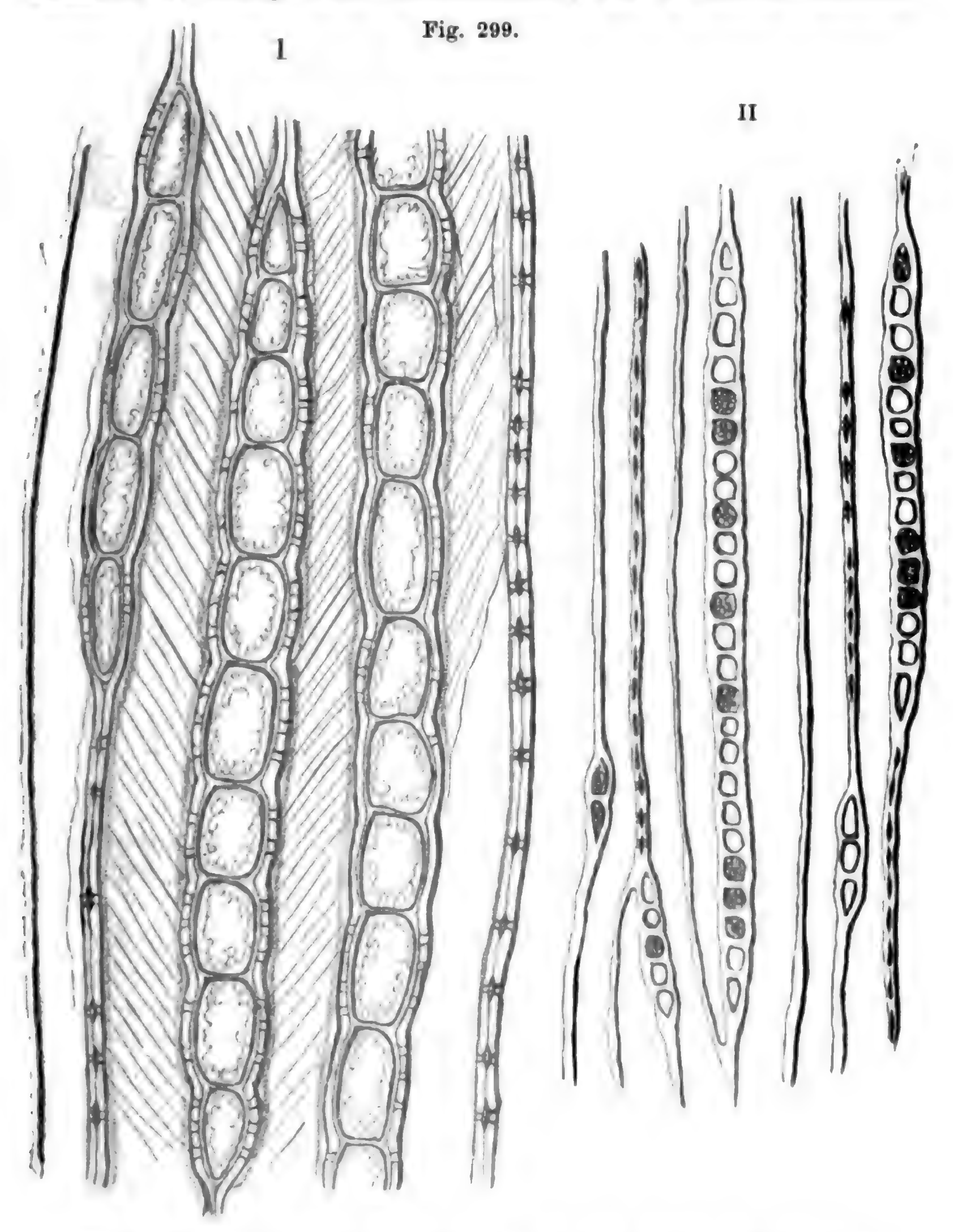


Fig. 299. Tangentenschnitte durch das Holz; I von Cycas spec., II von Abies pectinata. Vergr. I 1 : 250, II 1 : 150.

in Holz und Bast die gleiche Zellreihenzahl. Die Bündelstrahlen sind, mit Ausnahme von Ephedra (Fig. 299, IV, a. f. S.), welches neben schmalen

Digitized by Google

Fig. 299.

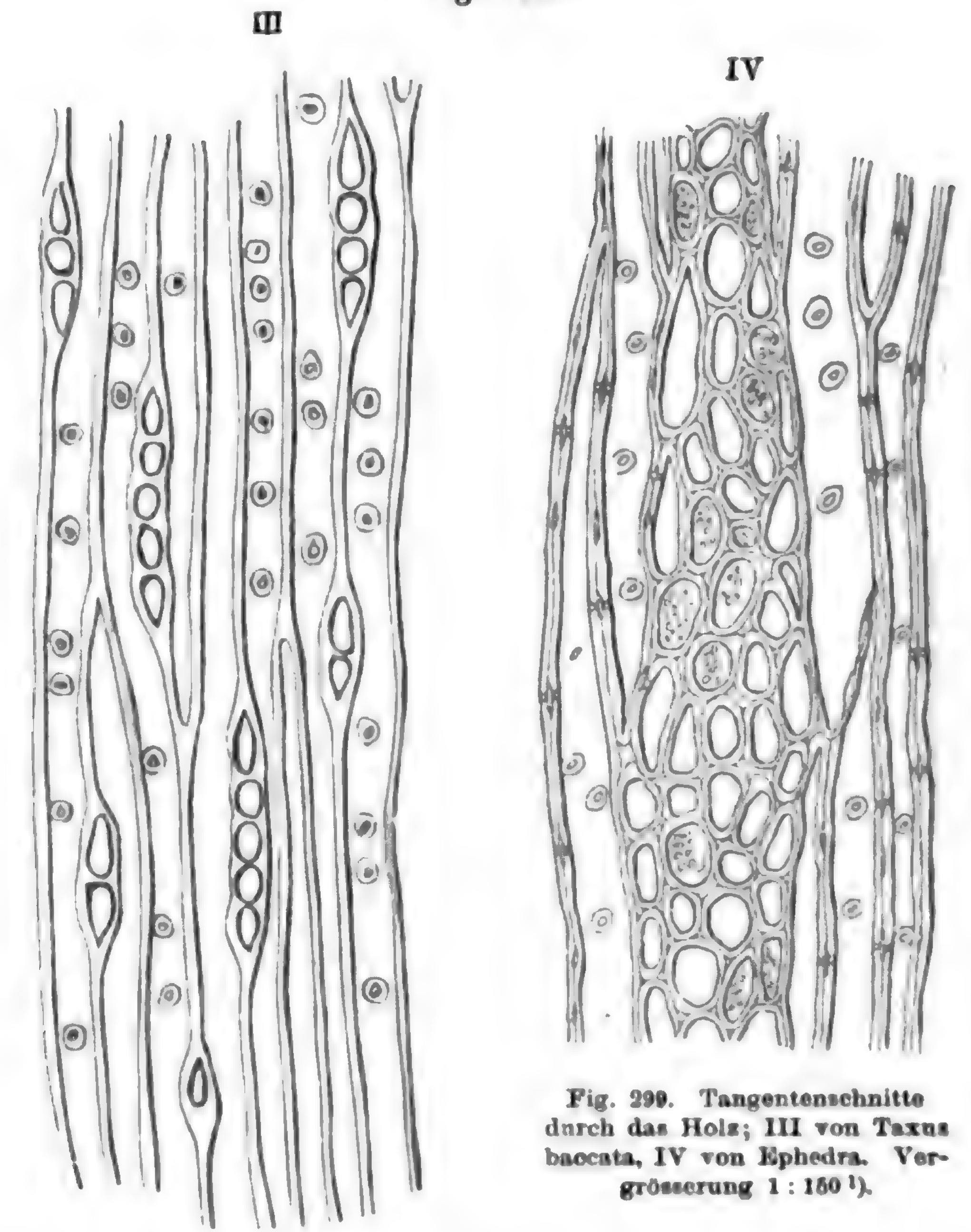


Fig. 299. Tangentenschnitte durch das Holz; III von Taxus baccata, IV von Ephedra. Vergrösserung 1 : 150 [1]).

auch solche von mehreren Reihen besitzt, bei allen Familien der Nadelhölzer, wie bei den Cycadeen nur schmale einreihige (Fig. 299, I, II, a. v. S., und III).

Die Höhe der Markstrahlen wechselt auch hier je nach den verschiedenen Arten, ohne dass dieser Wechsel indessen so auffallend wird, wie bei den Dikotyledonen, und es schwindet derselbe um so mehr, als dieses Verhältniss bei ein und derselben Pflanze oft bedeutenden Abweichungen unterliegt. So z. B. wechselt die Höhe bei Taxus (Fig. 299, III) nicht selten von 2 bis zu 24 senkrechten Zellenreihen.

Innerhalb des Gefässbündels auftretende, Luft oder eigenthümliche Säfte führende Canäle oder Gänge.

In dem Gewebe des Gefässbündels der Gefässkryptogamen, Monokotyledonen und Dikotyledonen erscheinen bei einzelnen Gattungen und

[1]) Bei Fig. III ist das Spiralband nicht mitgezeichnet.

Digitized by Google

Arten eigenthümliche, den in Mark und Rinde vorkommenden ähnliche Behälter, welche Luft oder andere ausgeschiedene Stoffe führen und unter den Namen von Luft- und Saftbehältern, Luft- und Saftgängen etc. bekannt sind. Luftgänge trifft man, soweit ich bis jetzt beobachtet habe,

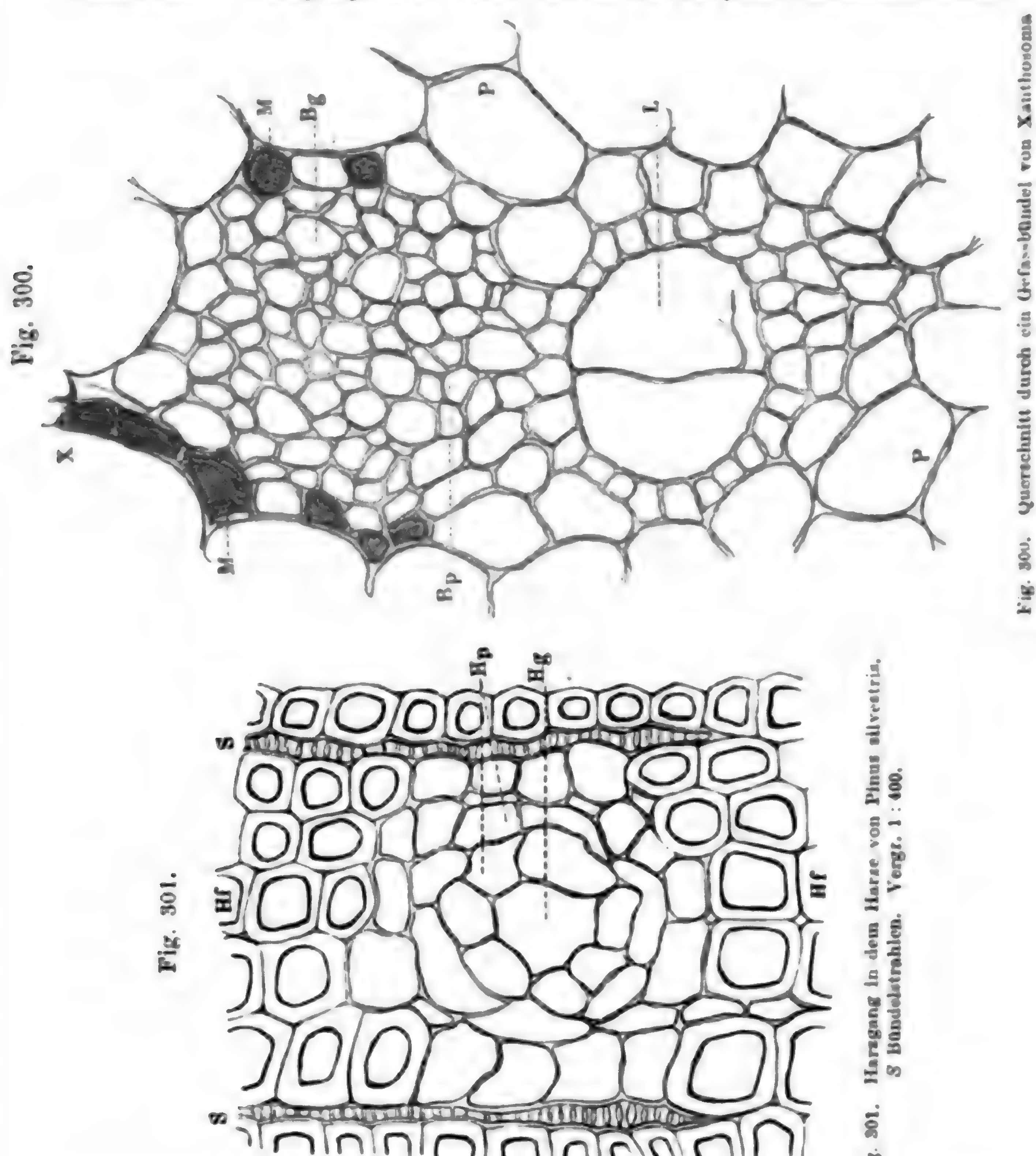


Fig. 300.

Fig. 300. Querschnitt durch ein Gefässbündel von Xanthosoma violaceum mit weitem Luftgange L. Vergr. 1 : 620.

Fig. 301.

Fig. 301. Harzgang in dem Harze von Pinus silvestris. S Bündelstrahlen. Vergr. 1 : 400.

nur in dem Gefässbündel der Equiseten (Fig. 300) und einzelner Monokotyledonen (Caladium, Xanthosoma u. s. w.).

Die Behälter eigenthümlicher Säfte, Harz-, Gummi-, Oel- und Milchsaftgänge, erscheinen seltener in dem Holze Pinus, Picea, Larix, Abies pectinata (Fig. 300 und 301), häufiger in dem Baste (Umbelliferen, Araliaceen, Therebinaceen, Anacardiaceen u. a., Fig. 302, a. f. S.).

Digitized by Google

Fig. 302.

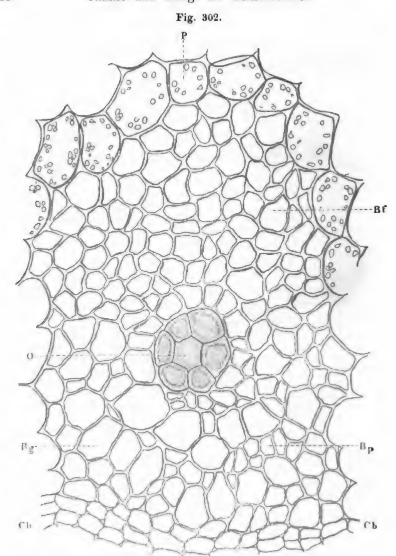


Fig. 302. Querschnitt durch den Basttheil des Gefässbündels von Angelica silvestris. Vergr. 1 : 620.

Die nächste Umgebung aller dieser in dem Holze der Nadelbäume an bestimmten Stellen mit dem Strahlengewebe in Verbindung stehenden (Fig. 301, a. v. S., und Fig. 289, S. 426) Behälter eigenthümlicher Säfte, mögen diese letzteren nun als eigentliche Secrete oder (wie der Milchsaft) als den Lebensprocessen wenigstens noch theilweise dienend zu betrachten sein, wird mindestens von einer, häufig aber auch von mehreren Reihen von Parenchymzellen gebildet, deren Inhalt in der Ruheperiode aus Stärke-

Digitized by Google

mehl und anderen Reservestoffen besteht, und während der Vegetationszeit eine chemische Umbildung in die betreffenden Verbindungen erleidet. Aus dieser Umgebung findet dann eine periodisch wiederkehrende Ausscheidung in die Saftbehälter und damit eine Vermehrung der schon in diesen enthaltenen eigenthümlichen Säfte statt.

Rückblick auf die Untersuchungen über Gefässbündel.

Fassen wir zum Schlusse noch einmal die Hauptpunkte zusammen, auf welche man bei der Untersuchung des Gefässbündels im Allgemeinen zu achten hat und welche für die histologische Charakterisirung der Gewächse von Wichtigkeit werden, so ergiebt sich Folgendes:

Erstens ist das Verhalten des Cambiums festzustellen und vor Allem die Frage zu beantworten, ob dasselbe nach Ablauf einer begrenzten Entwickelungsperiode eine vollständige Umbildung erleidet und seine Fortbildungsfähigkeit verliert (geschlossene Gefässbündel), oder ob es auch nach derselben noch in bildungsfähigem Zustande verharrt, um für die Folge noch der Zellenbildung und damit der Fortbildung des Gefässbündels (offene, fortwachsende Gefässbündel) zu dienen. Für den letzteren Fall kommt dann in Betracht, ob die Producte der Neubildung, d. h. des Zuwachses des Gefässbündels, durch alle Vegetationsperioden hindurch in ihrem gegenseitigen Verhältniss gleich bleiben, d. h. ob alle Jahresringe einen gleichartigen Bau zeigen oder ob sie in den späteren Vegetationsperioden eine Abänderung erleiden, so dass die späteren Jahresringe einen von dem der vorjährigen — der erstjährige ist ja immer, namentlich in dem inneren Theile der Primärbündel von den übrigen verschieden — abweichenden Bau beobachten lassen.

Zweitens ist zu erforschen, welcher Art die aus dem Cambium hervorgehenden Elemente des Gefässbündels sind, ob letzteres also im ausgebildeten Zustande alle drei Zellenarten und ihre verschiedenen Umbildungen zu den Elementen des Holz- und Basttheiles enthält, oder ob ihm die eine oder die andere der drei Zellenarten in einem dieser beiden Haupttheile abgeht.

Drittens ist zunächst im Allgemeinen die Anordnung der verschiedenen, Holz und Bast zusammensetzenden Elementarorgane in dem Gefässbündel und die daraus hervorgehenden Formen des letzteren zu beachten. Daran schliessen sich die Beobachtungen über die Besonderheiten in den grösseren Abtheilungen der Gefässpflanzen. Man wird für das monokotyledone Gefässbündel namentlich die Anordnung der Holz- und Bastfasern, sowie die Stellung der Holz- und Bastgefässe ins Auge zu fassen haben. Für das Gefässbündel der Gymnospermen dagegen wird für die älteren Jahresringe namentlich die Vertheilung des Holzparenchyms und dessen Betheiligung an der Bildung der Harzbehälter von Interesse. Ein noch entschiedeneres Augenmerk erfordert endlich für das Gefässbündel der

Digitized by Google

holzartigen Dikotyledonen das gegenseitige Stellungsverhältniss von dessen einzelnen Elementen im Allgemeinen sowohl als für die einzelnen Theile der Jahresringe. Wir haben hier zunächst das Verhalten der Gefässe zu beurtheilen und zu untersuchen, ob sie vereinzelt oder zu Gruppen vereinigt vorkommen, ob sie verschieden, und dann: in welcher Weise sie durch die einzelnen Jahresringe vertheilt erscheinen, wie sie sich in Bezug auf die Weite ihres Lumens verhalten. Einen weiteren Punkt von Wichtigkeit bildet das Verhältniss der parenchymatischen Zellen zu den übrigen Elementen des Holz- und Bastkörpers, und ist namentlich auf die Anordnung der aus dem Cambium des Gefässbündels hervorgegangenen Bündelstrahlen (secundären Markstrahlen) zu achten und deren Bau zu charakterisiren, dann die Vertheilung des Holzparenchyms in den verschiedenen Partien des Jahresringes und dessen Stellung zu den Gefässen und in den verschiedenen Gruppen der stärker verdickten (Sklerenchymfasern) und dünnwandigeren (Tracheïden) Faserzellen des Holzkörpers, sowie die Stellung des Bastparenchyms zu den Bastfasergruppen und Bastgefässen zu studiren, wobei sich in den verschiedenen Gewächsen mannigfache Abänderungen bemerklich machen. Endlich verlangt die Vertheilung und das eventuelle Vorkommen der unterschiedenen Formen der Holzfasern unsere Aufmerksamkeit, indem auch diese letzteren Umstände für die Charakterisirung einer bestimmten Holzart nicht ohne erhebliche Wichtigkeit sind.

Viertens müssen der Bau respective die Durchbrechung der Gefässscheidewände, sowie die Gestaltung der Verdickungsschichten sämmtlicher Zellenarten sorgfältig studirt und namentlich der Einfluss beachtet werden, welchen die an einander grenzenden Elementarorgane in Bezug auf dieses Verhältniss gegen einander geltend machen.

Fünftens endlich verlangt das Verhalten der Zellwände in Bezug auf die chemische Umbildung (Verholzung), sowie der Inhalt der verschiedenen Zellenarten in verschiedenen Altersperioden, wie in den verschiedenen Jahreszeiten ein eingehendes Studium, welches durch sorgfältige Anwendung der einschlägigen mikrochemischen Reagentien und der Färbeflüssigkeiten, und zwar der letzteren zu einfachen oder Doppelfärbungen unterstützt werden muss. Namentlich verlangen parenchymatische Gefässbündeltheile in dieser Beziehung eine sorgfältige Beachtung.

Schleiden: Grundzüge. 3. Aufl. Bd. I, S. 258.

Schacht: Lehrbuch der Anatomie und Physiologie. Bd. I, S. 334, und der Pflanzenzelle.

Th. Hartig: Naturgeschichte der forstlichen Culturpflanzen.

Derselbe: Ueber die Querscheidewände der Siebröhren von Cucurbita. Botanische Zeitung 1854, Nr. III.

H. v. Mohl: Einige Andeutungen über den Bau des Bastes. Botanische Zeitung 1855, S. 873.

Schacht: Die Milchsaftgefässe der Carica papaya. Monatsberichte der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1856. S. 515.

Unger: Einiges über das Wachsthum des Baumes und die Bildung der

Digitized by Google

Bastzellen. Denkschriften der Kaiserl. Akademie der Wissenschaften 1858. Bd. 16.

Hanstein: Ueber ein System schlauchförmiger Gefässe u. s. w. Monatsberichte der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1859. S. 705.

Sanio: Untersuchungen über die im Winter Stärke führenden Holzzellen des Holzkörpers dikotyler Holzgewächse. 1848.

Th. Hartig: Uebersicht der anatomischen Verhältnisse des Holzkörpers. Botanische Zeitung 1859. S. 110.

Nägeli: Ueber die Siebröhren von Cucurbita. Botanische Mittheilungen, Heft 1, 1861.

H. v. Mohl: Einige anatomisch-physiologische Bemerkungen über das Holz der Banianwurzeln. Bot. Ztg. 1862, Nr. 34 bis 36 und Nr. 39 bis 40.

Sanio: Vergleichende Untersuchungen über die Elementarorgane des Holzkörpers. Bot. Ztg. 1860, Nr. 11 bis 15.

Derselbe: Vergleichende Untersuchungen über die Zusammensetzung des Holzkörpers. Bot. Ztg. 1863, Nr. 47 bis 80.

Hanstein: Die Milchsaftgefässe und die verwandten Organe der Rinde. 1864.

Sanio: Ueber endogene Gefässbündelbildung. Bot. Ztg. 1864, Nr. 27 bis 30.

Dippel: Entstehung der Milchsaftgefässe und deren Stellungen in dem Gefässbündel der milchenden Gewächse. 1865.

Sanio: Einige Bemerkungen u. s. w. Bot. Ztg. 1865, Nr. 22 bis 25.

Dippel: Das Mikroskop und seine Anwendung. 1869.

Sanio: Anatomie der gemeinen Kiefer. Pringsh. Jahrb., IX, 1873.

De Bary: Vergleichende Anatomie der Vegetationsorgane der Phanerogamen und Farne als Band III des Handbuches der physiologischen Botanik von Hofmeister. 1877.

Lecomte: a. a. O.

Fischer: Neuere Beobachtungen über Stärke in Gefässen. Ber. d. bot. Gesellsch. 1886. S. XCVII.

Tschirch: Angewandte Pflanzenanatomie. Bd. I. 1889.

Digitized by Google

Dritter Abschnitt.

Untersuchungen über den Bau der vegetativen Organe der Stengelpflanzen.

Erstes Kapitel.

Bau des Stengels.

I. Stengel der Moose.

1. Stengel der Lebermoose.

Laubartige Lebermoose. — Bei einer Gruppe der Lebermoose ist der Stengel laubartig, d. h. in der Fläche ausgebreitet. Er nähert sich in seiner äusseren Gestalt insofern dem Lager mancher Flechten, von dem er sich indessen in seinem inneren Bau doch wesentlich unterscheidet. Den vollkommensten Bau besitzt der laubartige Stengel der Marchantiaceen. Derselbe besitzt einen hier und da verzweigten centralen Strang langgestreckter chlorophyllleerer oder doch chlorophyllarmer Zellen, den man wohl als erste Andeutung des Gefässbündels aufzufassen berechtigt sein dürfte (Fig. 303 *M* a. f. S.). Die Oberhaut (*E* u. *E*[1]) der Ober- oder Rückenseite, in der sich zerstreute, auf dem Flächenschnitte von vier oder mehr halbmondförmig gekrümmten, auf dem Querschnitte jederseits von sechs bis acht Zellen umgebene, über einer von chlorophyllführenden Zellfäden durchsetzte Luftlücke, oben und unten verengte, in der Mitte tonnenförmig erweiterte Spaltöffnungen (Fig. 304 a. S. 447) finden, wird von auf dem Querschnitte engeren (Fig. 303), auf dem Flächenschnitte gestreckten (Fig. 304) Zellen gebildet, von denen aus sich auf der Unter- oder Bauchseite die bekannten theils glattwandigen, theils warzig verdickten (S. 132, Fig. 69 II) Wurzelhärchen (*h*) fortsetzen. Auf der oberen Seite liegen unter der Oberhaut einige, auf der Unterseite eine oder zwei Lagen engerer Rindenzellen (*R*), welche dicht mit Chlorophyll erfüllt sind, während das übrige Gewebe des Lagers aus weitem polyëdrischen Parenchym (*P*) besteht, dessen Zellen netzförmig oder weitporig verdickt erscheinen. Sowohl in den Rindenschichten als in dem übrigen Parenchym sind einzelne Zellen mit den von Pfeffer näher beschriebenen (Flora 1874,

Digitized by Google

S. 2 u. ff.), bald einfachen, bald traubenförmig zusammengesetzten, sich in Alkohol, Aether, Benzol und Schwefelkohlenstoff lösenden und bei dieser Lösung eine protoplasmatische Hülle zurücklassenden, in jüngerem Zustande gelblichbraun, später braun gefärbten Oelkörper,

Fig. 303.

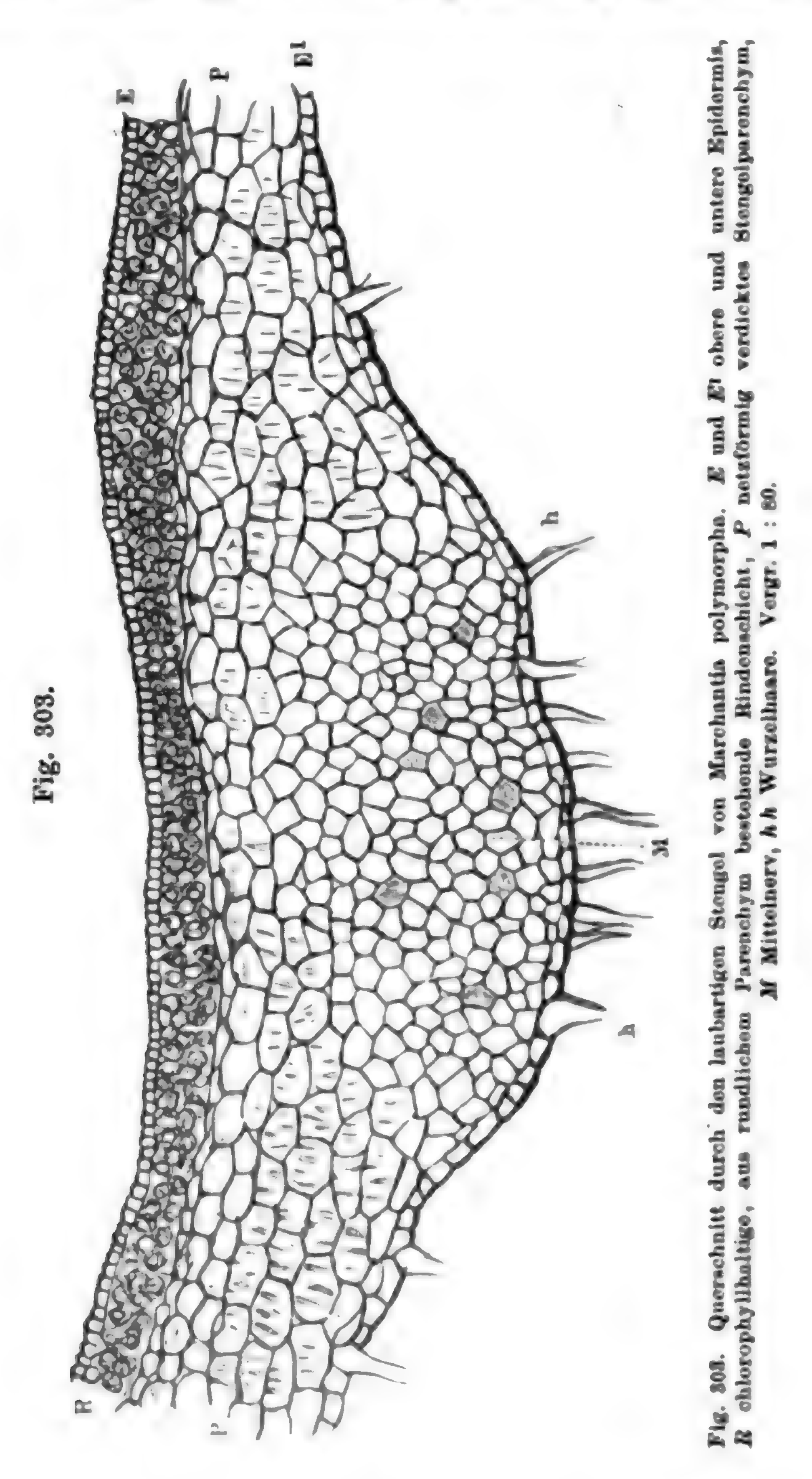


Fig. 303. Querschnitt durch den laubartigen Stengel von Marchantia polymorpha. *E* und *E*¹ obere und untere Epidermis, *R* chlorophyllhaltige, aus rundlichem Parenchym bestehende Rindenschicht, *P* netzförmig verdicktes Stengelparenchym, *M* Mittelnerv, *h h* Wurzelhaare. Vergr. 1 : 80.

vereinzelte auch mit sich durch starke Lichtbrechung auszeichnendem Schleim erfüllt. Um sich über alle histologischen Verhältnisse Aufschluss zu verschaffen, genügt die Betrachtung unverletzter Stengel oder Stengeltheile, welche nöthigenfalls durch Behandlung mit Aetzkali

Digitized by Google

durchsichtig gemacht und durch Druck auf das etwas starke Deckglas flach ausgebreitet werden müssen. Um die feinere Structur zu erkennen, nimmt man zarte Quer-, Längs- und Flächenschnitte, welche sowohl den mittleren Zellenstrang, als die seitliche blattartige Ausbreitung treffen. Endlich kann man noch die isolirten Zellen der beiden Stengeltheile der Betrachtung unterwerfen, welche man am besten durch Maceration mittelst Aetzkalilauge gewinnt.

Fig. 304.

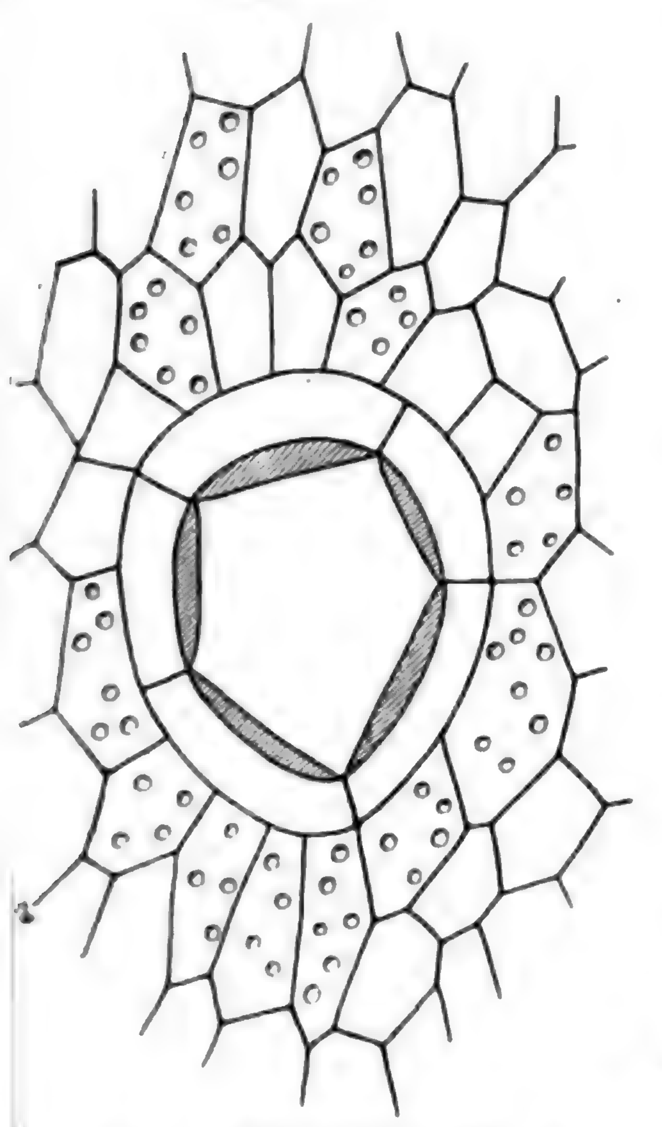


Fig. 304. Marchantia polymorpha. Spaltöffnung. Vergr. 1 : 380.

Fig. 305.

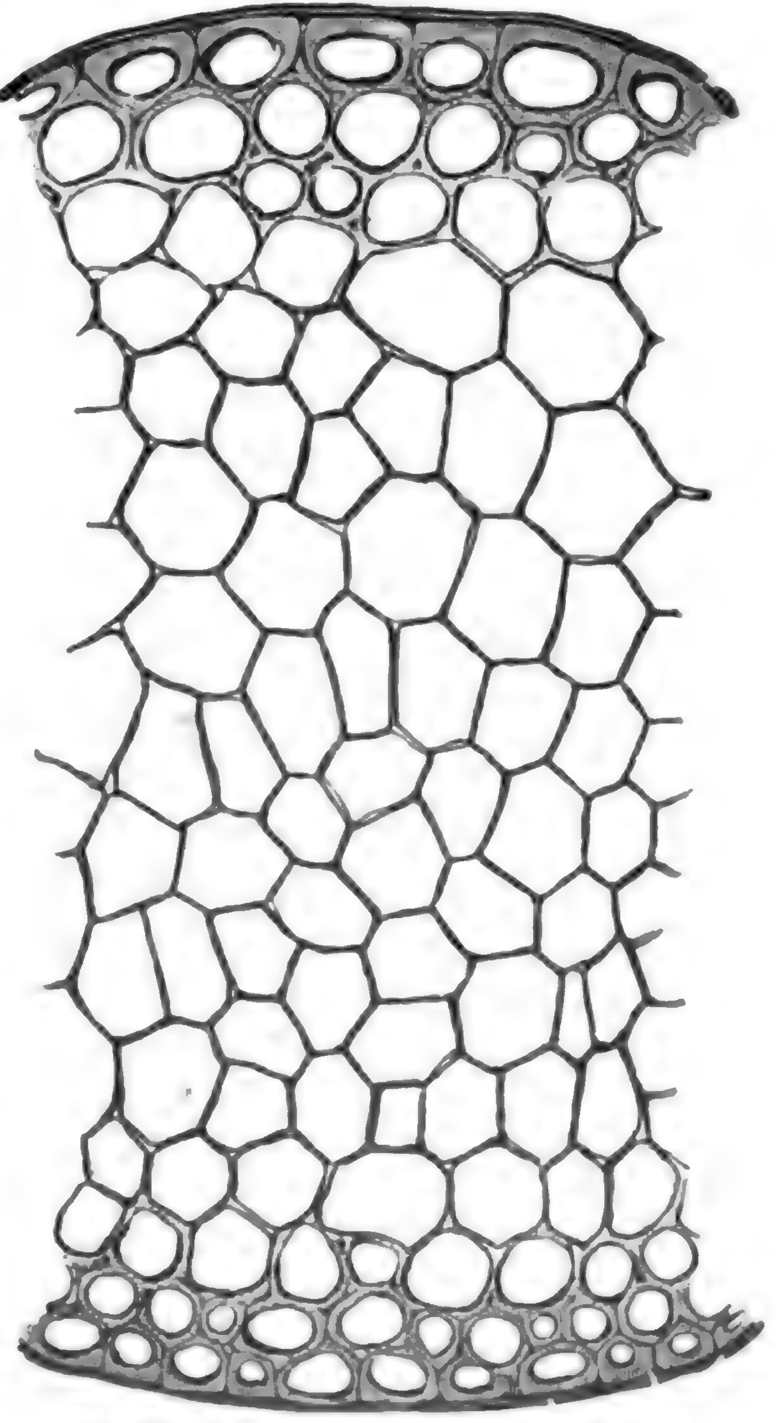


Fig. 305. Querschnitt durch den Stengel von Madothea platyphylla. Vergr. 1 : 300.

Beblätterte Lebermoose. — In der zweiten Gruppe, welche die beblätterten Lebermoose umfasst, nähert sich der Stengel in der äusseren Form mehr dem der nachfolgenden Classe, während er im inneren Bau fast einfacher erscheint, als der der vorhergehenden Gruppe (Fig. 305). Er besteht hier nämlich ganz aus gestrecktem Parenchym, welches nach aussen als Rindenlage aus stärker verdickten Zellen, mit hier und da mehr oder minder stark gelb bis bräunlich gefärbter Zellwand gebildet wird, und in seiner äussersten Zellenlage von einer zarten Cuticula

Digitized by Google

überzogen erscheint. Diese verdickten Zellen gehen ganz allmälig in das zarte Parenchym des inneren Gewebes über. Eine Andeutung eines Gefässbündels, welche sich durch abweichend gebaute, stärker verlängerte oder verengerte Zellen kenntlich machte, ist, soweit meine Erfahrungen reichen, hier nirgends vorhanden.

Zur Untersuchung des Stengelbaues bedarf man zarter Quer- und Längsschnitte, welche man bei einiger Uebung ganz gut aus freier Hand anfertigen, oder auch mittelst der im Handb. S. 771 u. f., G. S. 370 u. f. angegebenen Methode gewinnen kann.

2. Stengel der Laubmoose.

Der Stengel bei den Laubmoosen zeigt, wie schon bei Gelegenheit der Gefässbündeluntersuchungen erwähnt worden, mehrere Typen.

Moose ohne Gefässbündelstrang. — Bei einer gewissen Anzahl von Laubmoosen unterscheidet sich der Stengel in seinem histologischen Baue kaum von jenem der beblätterten Lebermoose. Der einzige Unterschied, der sich bemerklich macht, besteht darin, dass der Rindentheil aus stärker verdickten und verholzten, meist dunkelbraun gefärbten, faserartigen Zellen besteht, und dass der Uebergang von dem Rindengewebe in das zartere kürzere Stengelparenchym nicht ganz allmälig, sondern meist mehr plötzlich erfolgt (Fig. 306). Zu dieser Gruppe von Moosen gehören unter anderen Barbula, Fontinalis, Orthotrichum Gymnostomum.

Fig. 306.

Fig. 307.

Fig. 306. Querschnitt durch den Stengel von Gymnostomum microstomum. *R* verdickte Rindenzellen, *P* Stengelparenchym. Vergr. 1 : 180. — Fig. 307. Theil eines Querschnittes durch den Stengel von Sphagnum cymbifolium. *E* Oberhautzellen, *R* verdickte gefärbte Rindenzellen, *P* Stengelparenchym. Vergr. 1 : 320.

Digitized by Google

Der Stengel der Sphagneen kommt in seinem Baue nahezu dem der vorhergehenden Gruppe gleich (Fig. 307). Derselbe besitzt eine ein- bis dreireihige aus in der äussersten Lage gestreckten, weiten, eigenthümlich spiralig-porös — es treten zwischen den Spiralbändern verhältnissmässig grosse runde oder kurz elliptische offene Poren („Löcher") auf — verdickten Zellen gebildete Oberhaut, beziehentlich Aussenrinde, unter der sich als Rinde, beziehentlich Innenrinde, eine mehr oder minder starke Schicht meist dunkel gefärbter, verholzter, häufig poröser, faserähnlicher Zellen einfindet, welche allmälig in das zartwandige gestreckte Stengelparenchym übergeht.

Fig. 308.

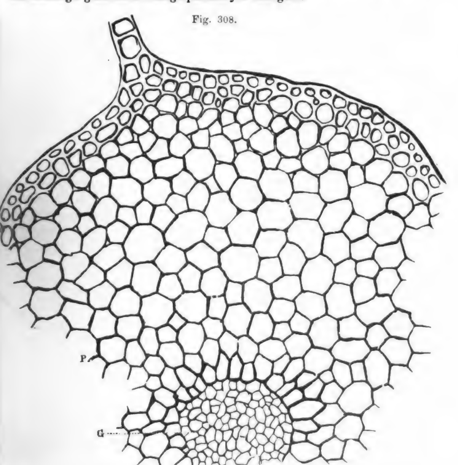


Fig. 308. Querschnitt durch den Stengel von Mnium stellatum. *R* Rinde, *P* Stengelparenchym, *G* Gefässbündelstrang. Vergr. 1 : 320.

Moose mit centralem Gefässbündelstrange. — Einen ziemlich ähnlichen Bau in Grundparenchym und Rinde, wie bei den Moosen der

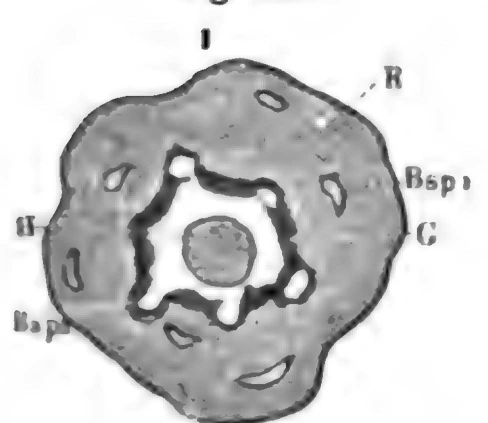
Digitized by Google

ersten Gruppe, besitzt der Stengel von Dicranum, Thamnium, Anomodon, Bartramia, Bryum, Hypnum. Hier tritt aber ein entschieden ausgesprochenes rudimentäres Gefässbündel hervor, indem sich auf dem Querschnitt ein centraler Strang von englumigen Zellen theils durch ihre stärkere Verdickung (Dicranum), theils durch ihre zartere Wandbeschaffenheit (Mnium) vor den übrigen Elementen des Stengels auszeichnet (Fig. 308 a. v. S.), während der Längsschnitt diesen Gewebetheil als aus langgestreckten Zellen bestehend zeigt.

Moose mit ringförmigem Gefässbündel. — Den vollkommensten Stengelbau zeigen die Polytrichumarten. Die verdickten englumigen und stark gefärbten Rindenzellen gehen hier auf dem Querschnitte allmälig in ein weitmaschigeres Parenchym über, dessen Zellwände eine gelbliche Färbung zeigen, dann folgt mit ebenfalls allmäligem Uebergange ein mehr oder minder breites, dünnwandigeres Gewebe, das nach innen mit einem Kranze dunkel gefärbter, mässig verdickter, theils engerer, theils weiterer Zellen abschliesst. Innerhalb dieser letzteren tritt ein ziemlich breiter, in seinen Wandungen wenig gefärbter Ring zartwandigen Gewebes auf, das in einen centralen Strang von collenchymartig und häufig einseitig verdickten Zellen mit stärker gefärbten Wandungen übergeht (Fig. 309 II.). Das Gefässbündel wird bei Polytrichum, wie schon früher (S. 350, Fig. 235) bei näherer Charakterisirung seines Baues nachgewiesen wurde, und wie namentlich auch die Vergleichung des Längsschnittes lehrt, von den zwei Gewebekreisen über dem centralen Strange, welchen ich als einen der Festigung dienenden Markcylinder auffasse, gebildet, ist also nicht mehr ein centraler Strang, wie bei der vorhergehenden Gruppe, sondern ein zusammenhängender Hohlcylinder, und es vermittelt somit der Bau des Stengels dieser Gattung den Uebergang zu dem der nächstfolgenden Classe mit ringförmig gestellten, getrennten Gefässbündeln. Dabei dürfte der innere, an den Markcylinder grenzende Ring als der Wasserleitung dienend, dem Holztheil entsprechend, der äussere, aus den dunkler gefärbten, protoplasmatischen Inhalt führenden Zellen bestehende Ring als dem Bast- oder Siebtheil entsprechend zu betrachten sein, so dass wir die einfachste Form des concentrischen Gefässbündels vor uns hätten. Hier treten auch bei den Moosen deutliche, mit dem Gefässbündel des Stengels in Verbindung stehende Blattspuren auf, die je nach dem Alter des betreffenden Blattes bei einfacherem Baue entweder direct mit dem Gefässbündel zusammenhängen (Fig. 309 I. u. II. *Bsp''*) oder in dem nächstgelegenen Parenchymkranze näher bei oder weiter von demselben entfernt stehen (*Bsp'*), oder bei einem dem Mittelnerven des Blattes mehr genäherten Baue sich mit Sicherheit bis in das derbwandigere Aussenparenchym zunächst unter der Rindenlage verfolgen lassen und auf dem Längsschnitte nicht minder deutlich hervortreten, wie auf dem Querschnitte.

Digitized by Google

Fig. 309.



Neben den zur Orientirung über den histologischen Gesammtaufbau des Moosstengels nothwendigen Quer- und Längsschnitten müssen, um sich über die Structur der einzelnen an den verschiedenen Stengelzonen theilnehmenden Zellformen genügend zu unterrichten, auch isolirte Zellen der Beobachtung unterworfen und wenn erforderlich mit den entsprechenden aus den vorigen Abschnitten leicht

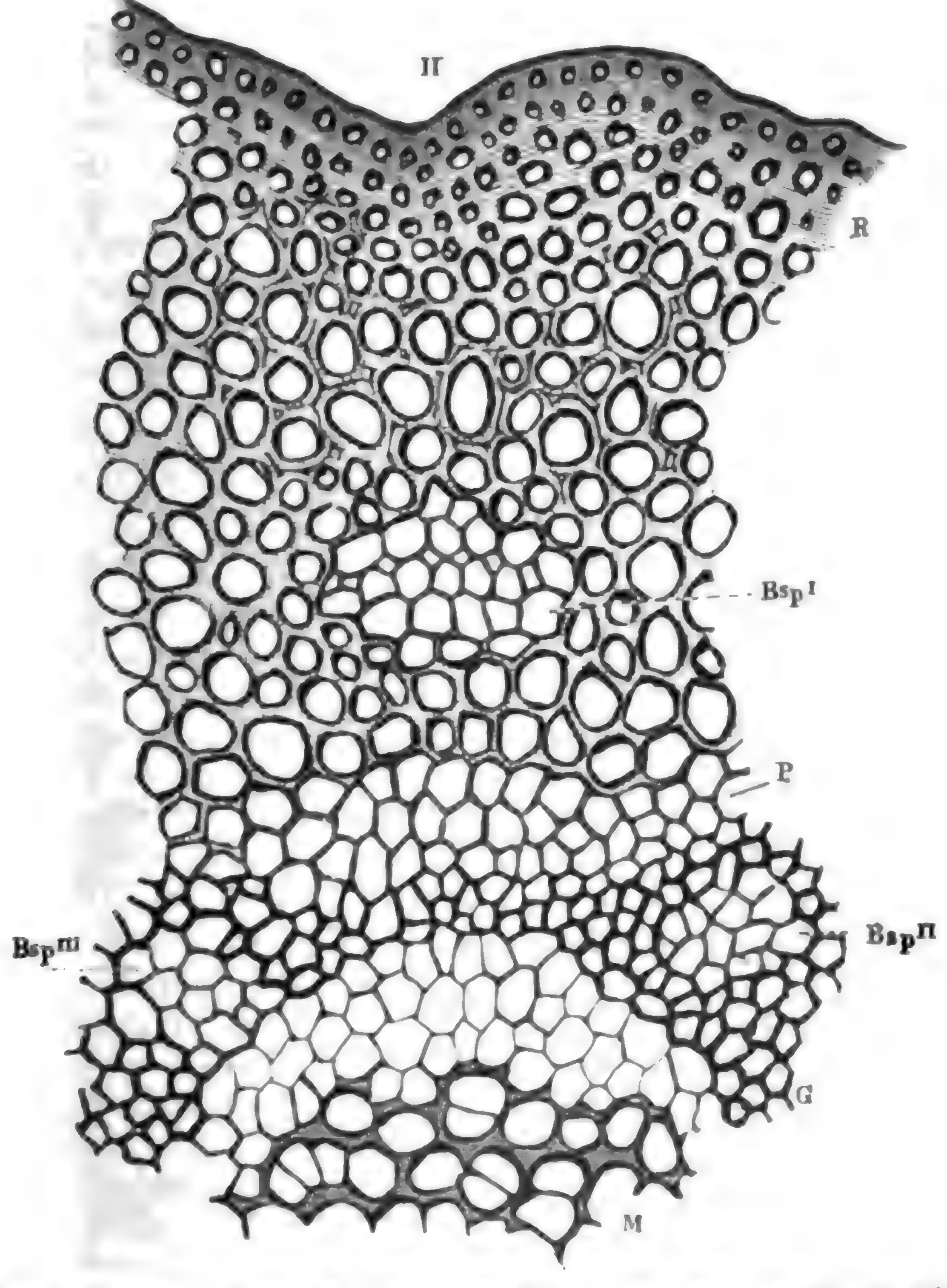


Fig. 309. I. Querschnitt durch den Stengel von Polytrichum commune. Dunkel gefärbtes Rindengewebe. *M* Markbündel, *G* Gefässbündelring, *Bsp*I Blattspuren in der Rinde, *Bsp*II mit dem Gefässbündelring in Verbindung stehende Blattspuren. Vergr. 1 : 20. — II. Theil des Querschnittes I, stärker vergrössert. *R* Rinde, *P* Stengelparenchym, *M* Mark, *G* Gefässbündelcylinder, *Bsp*I II III Blattspuren. Vergr. 1 : 150.

Digitized by Google

zu entnehmenden Reagentien behandelt werden. Auch hier verwendet man zur Maceration am besten Kalilauge. Um die verschiedenen Zellformen mit Sicherheit als zu dem Aufbau dieses oder jenes Theiles des Stengels beitragend zu erkennen, fertigt man mässig starke Längslamellen aus der Mitte an, welche die oben charakterisirten Gewebeunterschiede alle in sich aufnehmen, und trennt dann unter dem einfachen Mikroskope die einzelnen Theile, die man nach dem sorgfältigen Studium guter Längsschnitte leicht von einander zu unterscheiden im Stande sein wird, um dann jeden für sich mittelst der Nadel in seine einzelnen Elementarorgane zu zerlegen.

Um die Wachsthumsgeschichte, d. h. das Hervorgehen und die weitere Ausbildung der einzelnen Gewebepartien aus dem von der Scheitelzelle aus zunächst entwickelten Bildungsgewebe zu ermitteln, nimmt man von im Wachsthum begriffenen Stengeln Quer- und Längsschnitte von dem frei gelegten Vegetationspunkte an abwärts. Zur Ermittelung des Zusammenhanges der Blattspuren mit dem allgemeinen Gefässbündelcylinder müssen etwas dickere Längsschnitte verwendet und diese, nachdem sie durch Behandlung mit Kalilauge, die man dem Schnitte entweder unter Deckglas zugiebt, oder in der man kürzere Zeit kocht, unter schwacher Vergrösserung betrachtet werden.

II. Stengel und Stamm der Gefässkryptogamen.

1. Stengel der Schachtelhalme.

Der Schachtelhalmstengel besitzt eine einreihige, in seinem unterirdischen Theile (Wurzelstock, Rhizom) aus zartwandigen, zum Theil in am Grunde keulenförmige Haare auswachsenden, in seinem oberirdischen aus mehr oder minder stark verdickten, verkieselten und mit mannigfach gestalteten Erhebungen gezeichneten Zellen bestehende Oberhaut, welche zwischen den erhabenen Leisten mit wenigen Ausnahmen zierliche, in einzelne oder mehrfache Reihen geordnete Spaltöffnungen zeigt (Fig. 310 *O*).

Die äussere Rindenschicht besteht mit wenigen Ausnahmen (Equ. limosum, fertile Stengel von arvense und Telmateja) zum grossen Theil aus stark verdickten, in den oberirdischen Stengeltheilen ungefärbten, in den Rhizomen mehr oder minder dunkelbraun gefärbten, faserartigen Zellen (Sklerenchymfasern). Letztere häufen sich entweder nur an den Stellen, wo der Stengel hervorspringende Leisten hat, zu grösseren Bündeln (Fig. 310 *C*), oder erscheinen auch noch unterhalb der vertieften Stellen (Rillen) in mehrfachen Reihen (Wurzelstock von Equ. pratense, arvense). Die Innenrinde, aus rundlichem oder polyëdrischem, bisweilen in der Längsachse etwas gestrecktem, in beiden Fällen grössere und kleinere Intercellularräume zeigendem, bald mässig verdicktem, bald zartwandigem Parenchym bestehend, wird von grossen Luftgängen

Digitized by Google

derart durchbrochen, dass sich von jeder der erhabenen Riefen aus eine mehr oder minder breite Parenchymbrücke zu dem entsprechenden

Fig. 310.

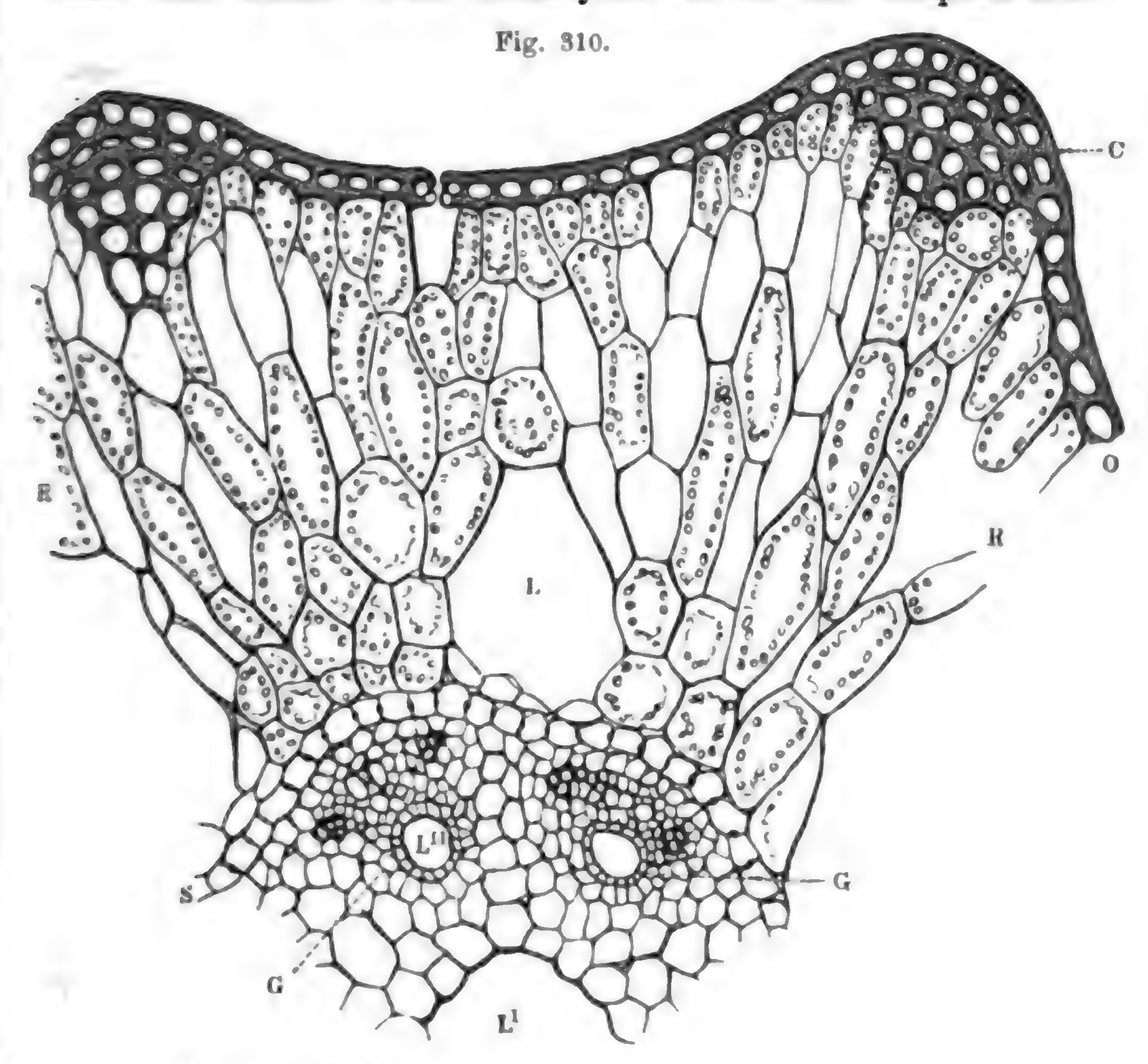


Fig. 311.

Fig. 310. Querschnitt durch einen jungen Stengel von Equisetum silvaticum. *O* Oberhaut, *C* Collenchym, *R* Rindenparenchym, *S* Gefässbündelscheide, *G* Gefässbündel, *L* Luftlücke im Rindengewebe, L^1 centrale Luftlücke, L^{II} Luftlücke des Gefässbündels. Vergr. 1 : 150.

Fig. 311. Querschnitt durch das Rhizom von Equisetum arvense. *R* Rinde, *P* Stengelparenchm mit den Luftgängen, *L*, *G* Gefässbündel mit kleinen Luftgängen, *M* das durch dickwandiges, braun gefärbtes Parenchym von den Gefässbündeln getrennte Mark, L^1 centraler Luftgang. Vergr. 1 : 25.

Gefässbündel hinüberzieht, also zwischen je zweien der letzteren sich auf dem Querschnitte eine Lücke befindet (Fig. 310 u. 311 *L*). Diese Parenchymbrücken setzen sich dann nach innen in die wenigen, aus

Digitized by Google

öfter kleineren Parenchymzellen bestehenden Zellenlagen fort (Equ. arvense, hyemale u. s. w.), welche die Luftgänge zunächst begrenzen und von der gemeinsamen Gefässbündelscheide trennen (Equ. arvense, palustre u. s. w.), oder sie gehen unmittelbar in das Zwischen- und Markparenchym über (Equ. limosum). Letzteres enthält seinerseits wieder einen grossen centralen Luftgang (Fig. 310 u. 311 *L'*).

Die meistens durch ziemlich bedeutende Parenchymlagen von einander getrennten collateralen (S. 354 u. f.) Gefässbündel umgeben das Markgewebe in einem Ringe und es stimmt deren Anzahl mit jener der Leisten des Stengels, resp. der je einem Knoten zugehörigen quirlständigen Aeste überein, welche bekanntlich je nach den einzelnen Arten verschieden ist (Fig. 311 *G*). Von der Rinde wird der Gefässbündelring entweder durch eine gemeinsame, leicht erkennbare, einfache Reihe von mehr oder minder verdickten, gewellte Wände besitzende, den schwarzen Punkt Caspary's zeigende, in den Rhizomen meist bräunlich oder gelb gefärbten Zellen getrennt (Equ. arvense etc.) (Fig. 310 und 313 *S*), oder es wird

Fig. 312.

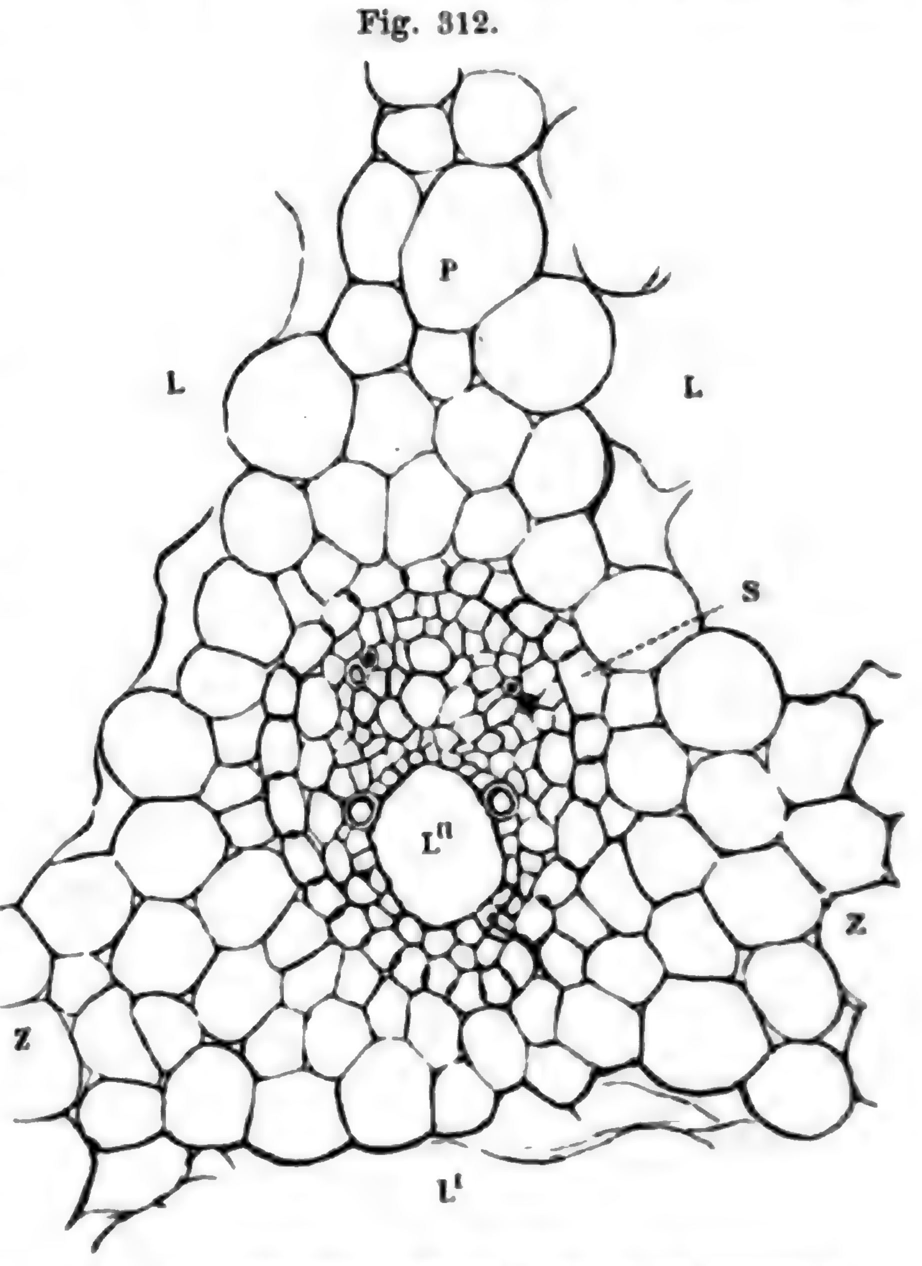


Fig. 312. Querschnitt aus dem Stengel von Equisetum limosum. Bezeichnung wie Fig. 310. Vergr. 1 : 160.

jedes einzelne Gefässbündel von einer derartigen Scheide umgeben, während, wie schon oben angedeutet, das Rindengewebe unmerklich in das Zwischen- und Markgewebe übergeht (Equ. limosum, oberirdische Stengel [Fig. 312 *S*]). Wir haben in dieser Zellenreihe offenbar denjenigen Theil des Stengelparenchyms vor uns, dessen wir schon im vorhergehenden Abschnitte als Gefässbündelscheide erwähnten. Eine gegen das Mark gewendete gemeinsame Gefässbündelscheide tritt nur bei einzelnen Arten (Equ. variegatum, hyemale) auf, dagegen findet

Digitized by Google

sich in dem Rhizome ziemlich allgemein über den bei der lysigenen Entstehung des centralen Luftganges stehen gebliebenen, dünnwandigen oder mässig verdickten Zellen des Markes ein der Festigung dienender Halbring von stärker verdickten und braun gefärbten Zellen, welcher mit vorgezogenen Spitzen in das dünnwandige bis mässig verdickte Zwischengewebe hineinragt (Fig. 313).

Fig. 313.

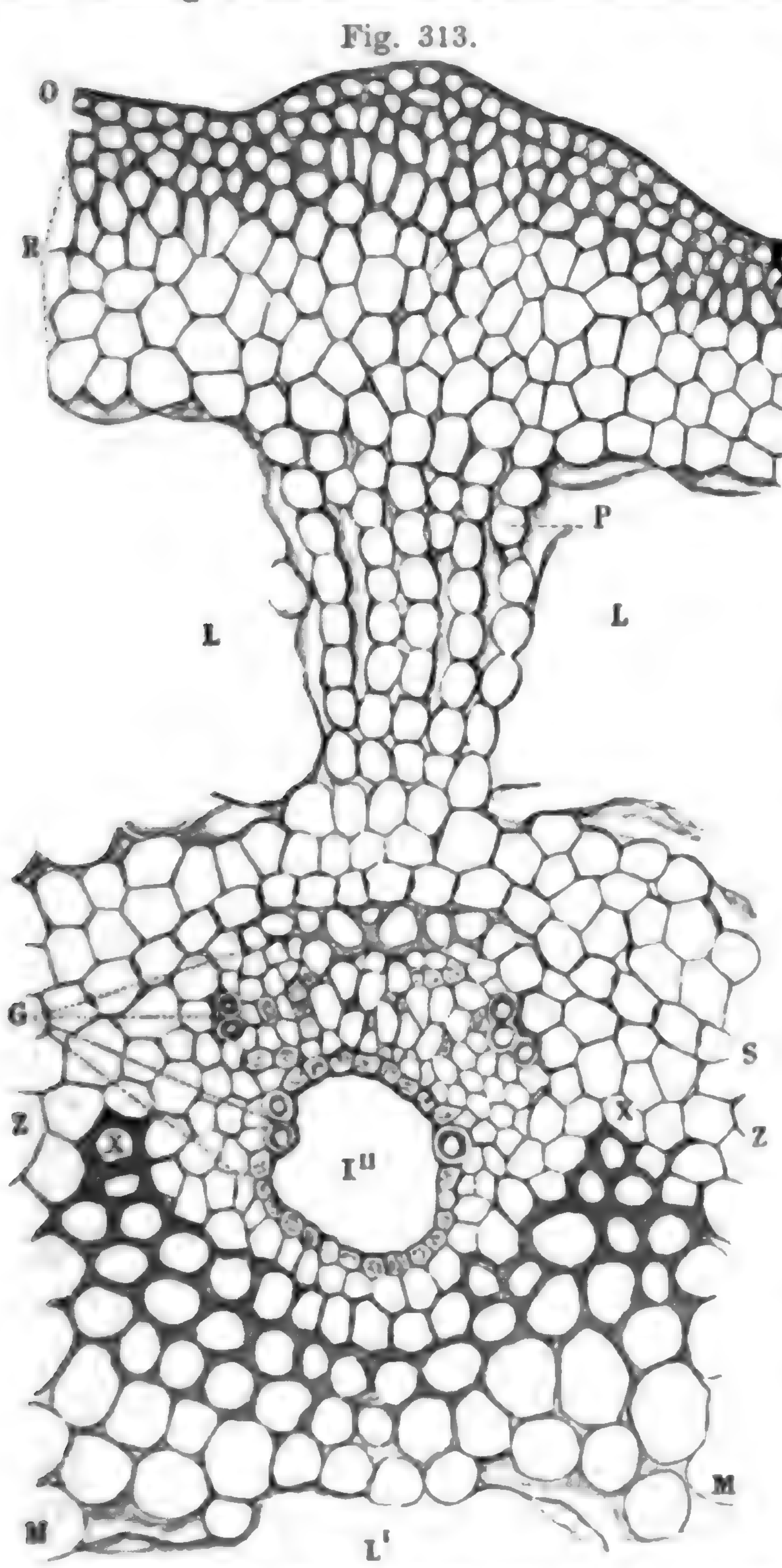


Fig. 313. Querschnitt aus dem unterirdischen Stengel von Equisetum arvense. *O* Oberhaut, *R* Rindengewebe, *P* zwischen den Luftgängen befindliche Parenchymbrücke, *S* Gefässbündelscheide, *G* Gefässbündel, *Z* Zwischengewebe, welches nach dem Mark hin (*X*, *X*) dunkel gefärbt und verdickt ist und bis zwischen die Gefässbündel vordringt, *M* Mark, *L* Luftgänge des Rindengewebes, L^{II} der Gefässbündel, L^{I} centraler Luftgang. Vergr. 1 : 150.

In den Knoten treten die Gefässbündel nach den Blättern und Aesten hinüber, während sie zugleich eine geringe Verschiedenheit in Bezug auf den Bau und die Gruppirung der einzelnen Elemente beobachten lassen.

Quer- und Längsschnitt aus verschiedenen Höhen des Stengels und ebenso durch das Rhizom geben über alle hier vorkommenden Verhältnisse die nöthigen Aufschlüsse und hat man nur für die Erforschung des feineren Baues der verschiedenen Zellenarten etc., der indessen schon früher bei dem Gefässbündel seine Berücksichtigung gefunden, isolirte Zellen in Betracht zu ziehen. Die in dem vorhergehenden Abschnitte bei den Untersuchungen über die Gefässbündel erwähnten Doppelfärbungen zur Erkenntniss der chemischen Beschaffenheit der Zellwände der verschiedenen Zellenarten lassen sich mit gutem Erfolge nur an oberirdischen Stengeltheilen mit nicht oder wenig gefärbten Wänden dünner Schnitte anwenden.

Digitized by Google

Um die Entstehung der einzelnen Gewebetheile des Stengels und deren Ausbildung zu studiren, muss man mit den Quer- und Längs-

Fig. 314.

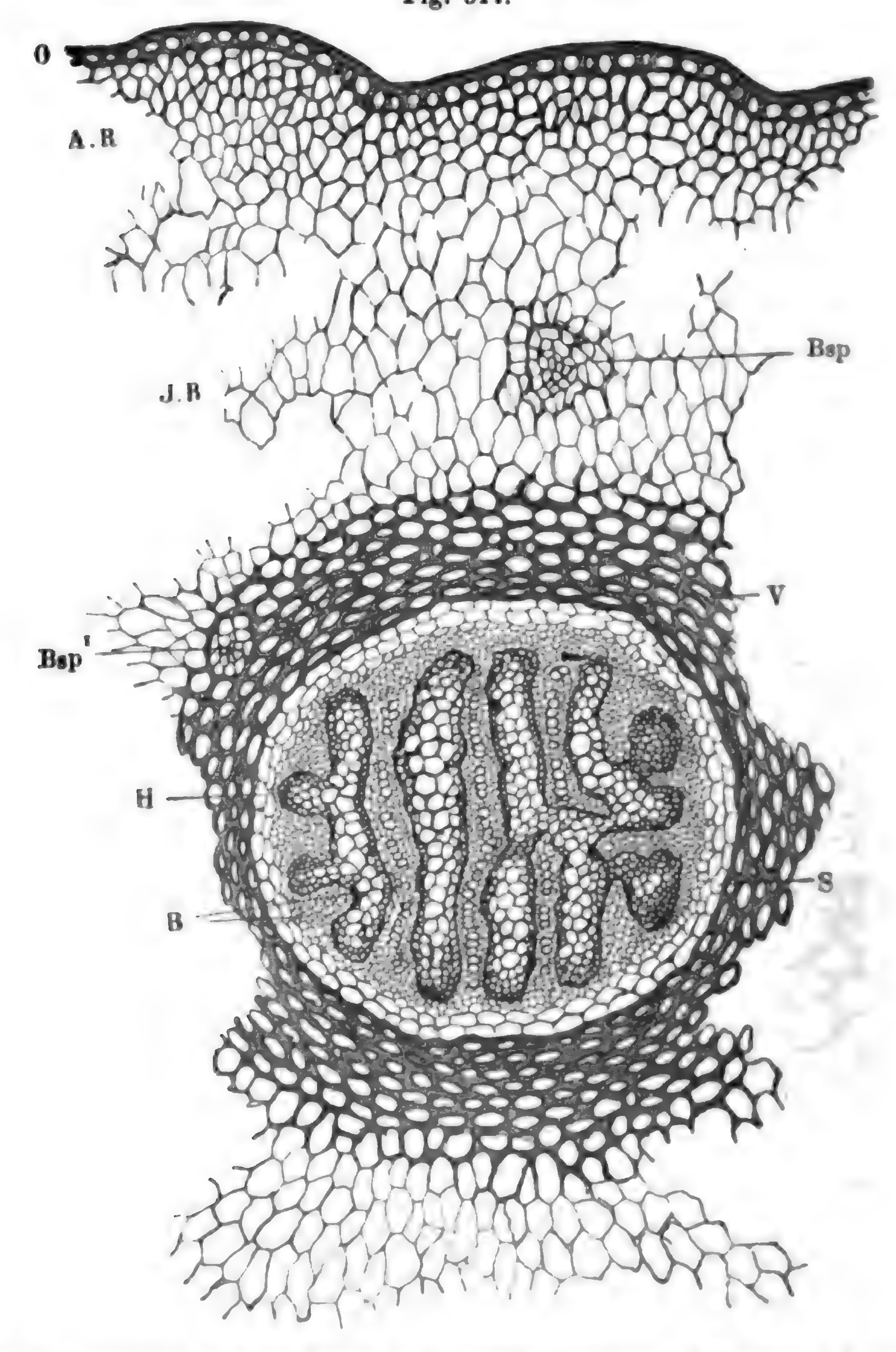


Fig. 314. Querschnitt durch den Stengel von Lycopodium annotinum. *O* Oberhaut, *A R* Aussenrinde, *J R* Innenrinde, *V* Versteifungsring, *S* Gefässbündelscheide, dünnwandiges Parenchym in der Umgebung des Gefässbündels, *H* Holztheil, *B* Basttheil des Gefässbündels, *Bsp* und *Bsp'* Blattspuren. Vergr. 1 : 120.

schnitten von dem Vegetationspunkte, also von der Scheitelzelle und dem aus derselben hervorgegangenen Bildungsgewebe des wachsenden

Digitized by Google

Stengels aus nach abwärts steigen. Diese werden dann namentlich auch über die Art der Entstehung der Luftbehälter der Rinde und des Markes, sowie der Gefässbündel die nöthigen Daten an die Hand geben.

2. Stengel der Bärlappgewächse.

Der Stengel der Bärlappgewächse besitzt ebenfalls eine wahre, aus einer einzigen Lage an der Aussenwand stärker verdickten Zellen gebildete Oberhaut mit Spaltöffnungen (Fig. 314 und 315). Unter dieser liegen als Aussenrinde eine Anzahl von Zellenreihen mit in den äusseren Reihen ziemlich engem, in den inneren sich erweiterndem Lumen und mässig verdickten Wandungen; dann folgt ein mehr oder minder regelmässiges, weitzelligeres, Stärke führendes Parenchym als Innenrinde (Fig. 314 und 315 *A R* und *J R*).

Fig. 315.

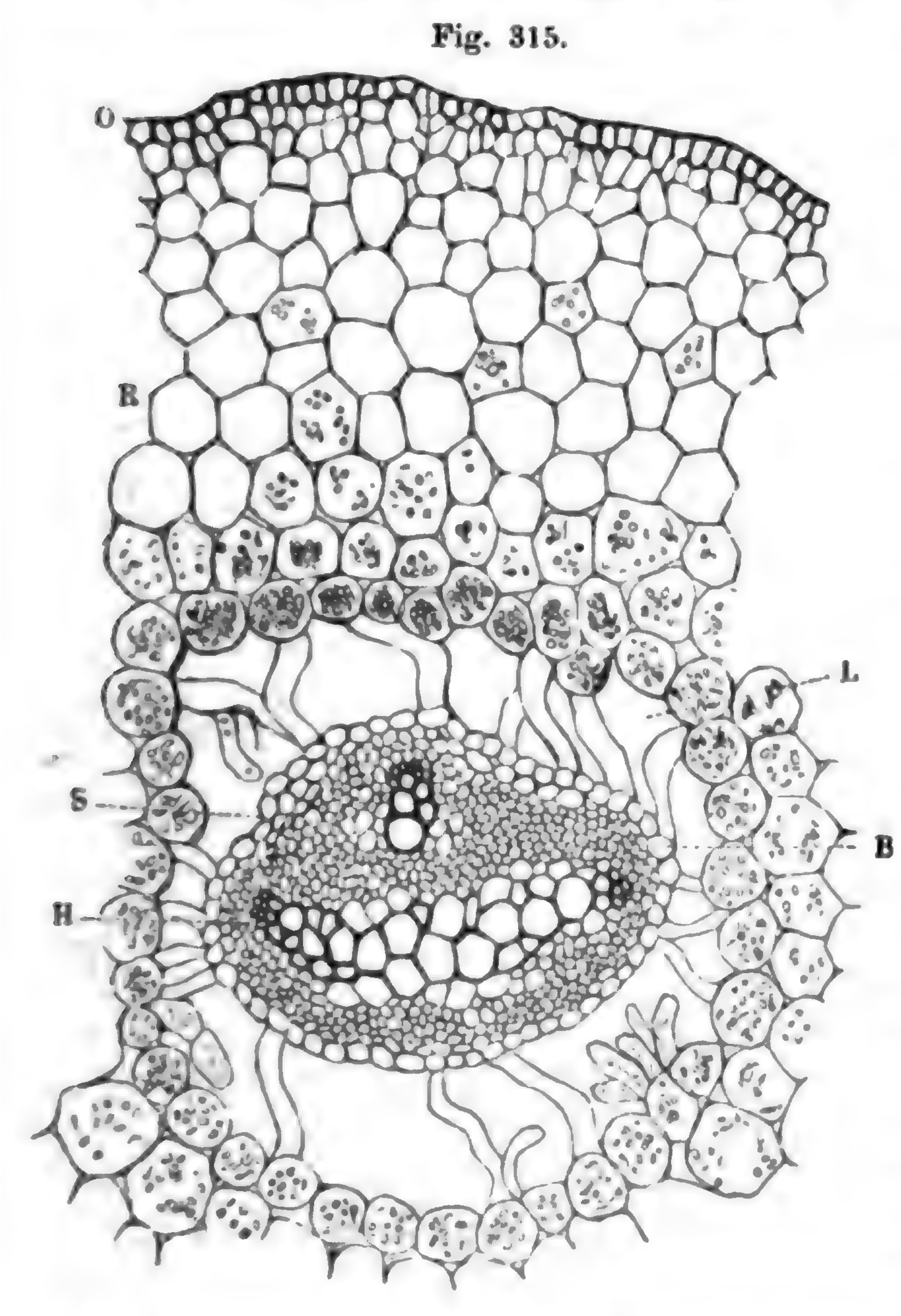


Fig. 315. Querschnitt durch den Stengel von Selaginella caesium. *L* Luftstück um das Gefässbündel von haarartigen Zellen durchsetzt. Bezeichnet sonst gleich wie Fig. 314. Vergr. 1 : 180.

Die Innenrinde geht bei den Lycopodiumarten in den in ansehnlicher Breite entwickelten ringförmigen Sklerenchymring, den ich als Versteifungsring bezeichnen will, über, dessen faserartige, in den inneren Reihen ihren Hohlraum — namentlich in radialer Richtung — verengende und damit in tangentialer Richtung etwas gestreckt erscheinende Zellen von aussen nach innen eine mässige bis stärkere Wandverdickung beobachten lassen (Fig. 314 *V*), und welche zunächst die aus einer Zellenreihe gebildete, dünnwandige Bündelscheide (Fig. 314 *S*)

Digitized by Google

und das centrale in der früher (S. 356 u. f.) beschriebenen Weise gebaute Gefässbündel überall geschlossen umgiebt. Innerhalb der Innenrinde, sowie der Gefässbündelscheide treten zahlreiche Blattspuren auf (Fig. 314 *Bsp* und *Bsp'*), welche sich auf Längsschnitten sehr schön von den Blattansätzen aus bis zu dem Gefässbündel verfolgen lassen, wenn man nicht zu dünne Längsschnitte mit kalter Kalilauge umhüllt oder kürzere Zeit in derselben kocht.

Fig. 316.

Fig. 316. Querschnitt durch den unterirdischen Stengel von Polypodium vulgare. *O* Oberhaut, *R* dünnwandiges Rindengewebe, *G* Gefässbündel, *S* Gefässbündelscheide, *X* einseitig verdickte Zellen ausserhalb der letzteren. Vergr. 1 : 200.

Die Selaginellaarten lassen verschiedene Verhältnisse beobachten. Bei einzelnen Arten mit centralem Gefässbündel (Sel. caesium) liegt letzteres in einem lufterfüllten Hohlraume, durch welchen sich von der Gefässbündelscheide aus zum Rindenparenchym langgestreckte haarartige Zellen hinüberziehen (Fig. 315); bei anderen Arten setzt sich die Innenrinde theils in das engmaschigere Zwischengewebe fort, welches die einzelnen mittelpunktständigen Gefässbündelbänder und -Stränge von einander scheidet (Sel. Martensii), theils nimmt dieselbe (Sel. arborea) zunächst eine engmaschige Beschaffenheit an und geht dann in ein schwammförmiges

Digitized by Google

Gewebe über, welches die Lufträume durchzieht, von denen die isolirten Gefässbündel von aussen umgeben werden.

Die Präparationsmethoden bleiben hier die gleichen, wie die im Vorausgehenden angegebenen. Doppelfärbungen, wie Differenzirungsfärbungen mittelst der Pectose anzeigenden Färbeflüssigkeiten, werden auch hier die erforderlichen Aufschlüsse über den chemischen Bestand der Wände der verschiedenen Zellenarten gewähren.

3. Der Stamm der Farnkräuter.

Der Stamm der Farnkräuter, mag er ein oberirdischer (Baumfarne) oder unterirdischer sein, besitzt in der Jugend eine wahre Epidermis, in der sich im ersten Falle in den grünen Theilen zerstreute Spaltöffnungen finden. Unter dieser liegt entweder ein aus mässig verdickten parenchymatischen Zellen gebildetes Rindengewebe (Polypodieen, Fig. 316 *R*) oder es entwickelt sich zunächst die Aussenrinde, welche aus faserartigen, mehr oder minder stark verdickten, in der Regel braun oder gelb gefärbten, poröse Wände besitzenden Zellen (Pteris etc., Baumfarne) besteht und allmälig in die aus zartwandigem, nach der Längsachse meist mehr oder weniger gestrecktem Parenchym bestehende Innenrinde übergeht (Fig. 317 *R'* und *R''* a. f. S.). Diese setzt sich unmerklich in das allgemeine Stengelparenchym fort, welches das hier und da von mehr oder minder mächtigen, oft verzweigten (Pteri saquilina) aus verdickten und verholzten faserartigen Zellen gebildeten Versteifungssträngen (Fig. 317, S. 460) durchsetzte, die zerstreuten Gefässbündel scheidende und durch die Gefässbündelscheide (*S*) von ihnen getrennte, sowie das innerhalb der Gefässbündel die Mitte des Stammes einnehmende Grundgewebe bildet.

Die concentrischen (S. 359 u. f.) Gefässbündel haben im Querschnitte theils eine annähernd kreisförmige oder länglichrunde, theils eine halbmondförmige, zweischenklige oder auch wellig bandförmig gestreckte Gestalt.

Bei den baumartigen Farnkräutern nehmen die bandförmigen Bündel den äusseren Gefässbündelkreis ein, während nach innen mehr unregelmässig zerstreut stehende kleine, rundliche Bündel auftreten. Bei unserem einheimischen Adlerfarn dagegen stehen in dem unterirdischen Stamme die Bündel von bald rundlicher, bald mehr oder weniger gestreckter Gestalt ziemlich ohne bestimmte Ordnung in dem äusseren Kreise geordnet, während gegen die Mitte bogig bandförmige Bündel auftreten. Bei anderen Arten, wie Polypodium, Asplenium u. s. w., bilden kreisförmige Bündel, ein- oder zweireihige, nahezu concentrische Kreise, bei noch anderen, wie Osmunda, Blechuum, erscheinen in den Rhizomen langgestreckte Bündel entweder als ein einziges oder zwei nach dem Umkreise gerückte Bänder. Bei den einheimischen Farn wird jedes Gefässbündel von einer bestimmt zu erkennenden Bündelscheide

Digitized by Google

und meist noch von einem schmäleren oder breiteren, aus abweichend gebildeten, meist ein- oder allseitig mehr oder minder verdickten und

Fig. 317.

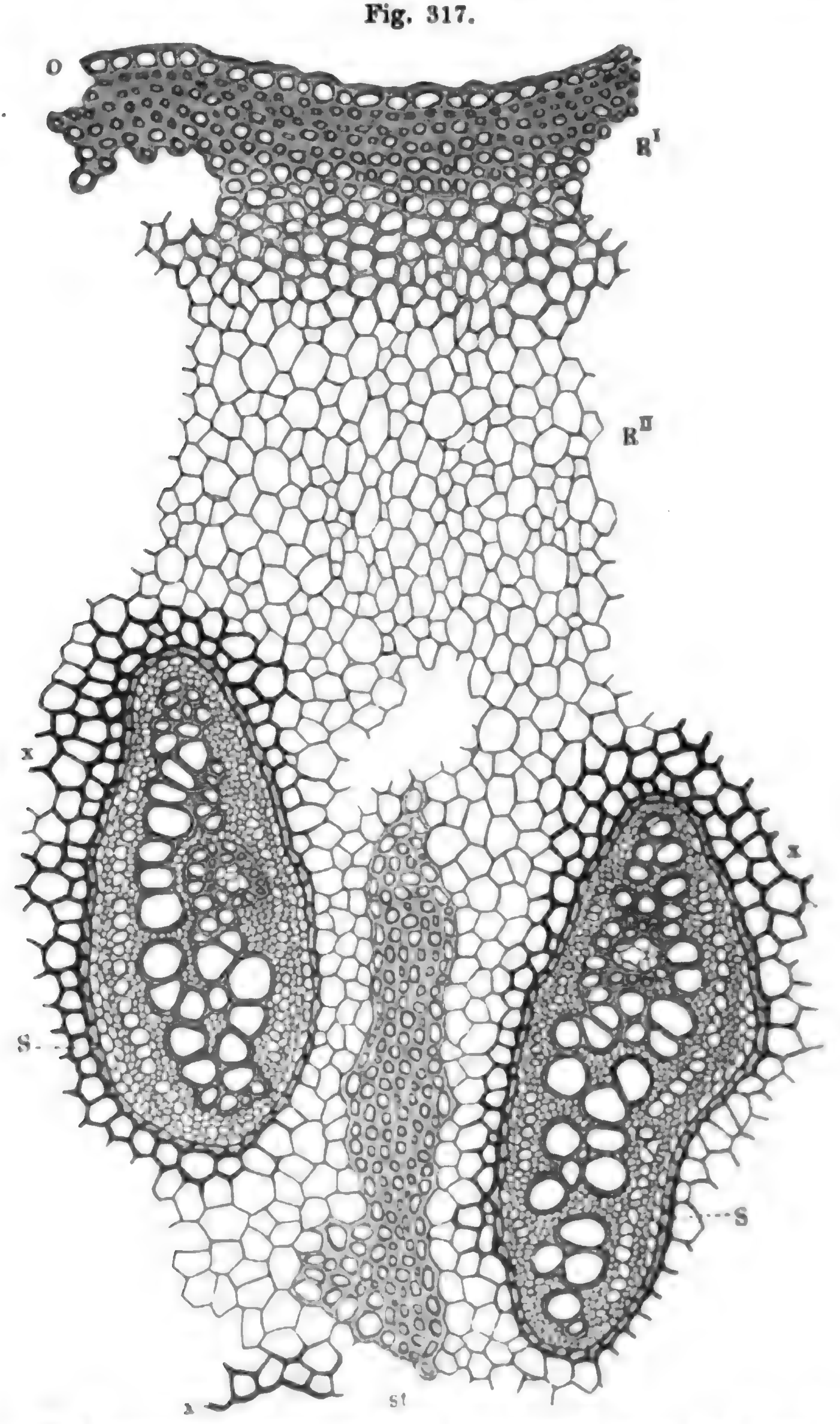


Fig. 317. Theil eines Querschnittes durch den unterirdischen Stamm von Pteris aquilina. *st* Strang faserartiger Zellen. Bezeichnung sonst wie in voriger Figur. Vergr. 1 : 110.

gelb oder braun gefärbten, gestreckt parenchymatischen bis faserartigen Zellen gebildeten, häufig nur in einem Theile des Umfanges entwickelten Versteifungsringe umgeben (Fig. 317 *X X*). Bei den Baumfarn wird

Digitized by Google

Fig. 318.

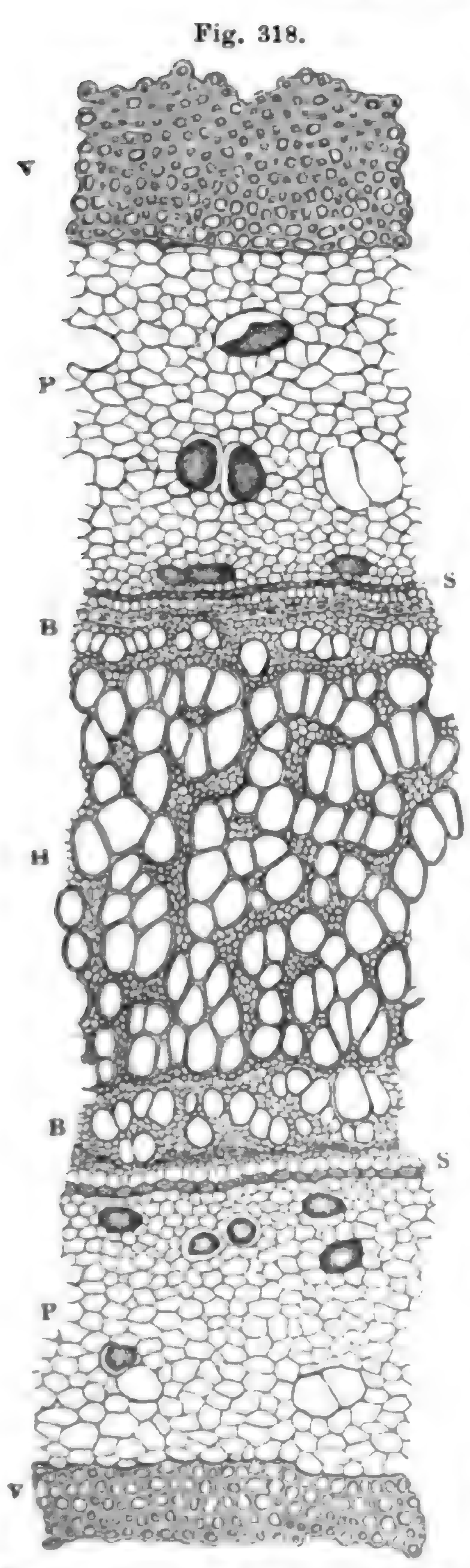


Fig. 318. Theil eines Querschnittes durch den Stamm von Cyathea incana. *H* Holztheil, *B* Basttheil des Gefässbündels, *S* Gefässbündelscheide, *P* dünnwandiger Parenchymgürtel, *V* Theile der Versteifungsstränge. Vergr. 1 : 50.

die Gefässbündelscheide von einer breiten, dünnwandigen Parenchymlage umgeben, in der einzelne weite, gestreckte, mit einem rothbraunen, harzartigen Stoffe erfüllte Zellen eingestreut erscheinen. Hierauf folgt ein vollständig geschlossener Hohlcylinder von stark verdickten, braun gefärbten, faserartigen Zellen (Fig. 318 *VV*). Ausserdem erscheinen auch hier die für manche krautartigen Farne erwähnten, aus verdickten, faserartigen, gefärbten Zellen gebildeten Versteifungsstränge zerstreut in dem Parenchym zwischen den Gefässbündeln.

4. Wurzelstock und Fruchtstiel der Rhizocarpeen.

Die oberirdischen Stengeltheile der Rhizocarpeen besitzen eine aus weiteren, meist nach aussen stärker verdickten, die unterirdischen eine aus kleinen, nicht hervorstechend verdickten Zellen gebildete Oberhaut (Fig. 319 *O* a. f. S.). Unter dieser liegt das zartwandige, bald polyëdrische, bald rundliche Rindenparenchym, welches bei manchen Arten von Marsilea und bei Pilularia von zahlreichen Luftcanälen unterbrochen wird (Fig. 319 *R* u. *L*). Hierauf folgt ein schmaler Gewebering, der mit jenem einige Aehnlichkeit hat, welcher die Gefässbündel der tropischen Farnkräuter umgiebt. Derselbe besteht nämlich aus in den äusseren ein bis drei Reihen sehr stark, fast bis zum Verschwinden des Lumens, in den inneren Reihen meist minder stark verdickten Zellen, welche bei den Fruchtstielen hellgelb, bei dem unterirdischen Stengel gelbbraun bis

Digitized by Google

dunkelbraun gefärbt sind (Fig. 319 *V*). Innerhalb dieses Versteifungsringes tritt wieder ein mässig verdicktes, weitzelliges, stärkereiches Parenchym auf, dem einzelne, eine rothbraune Substanz enthaltende, durch ihre Form nicht weiter ausgezeichnete Zellen eingesprengt sind und welches nach innen, an der Grenze des centralen Gefässbündels mit einem einreihigen Kranze engerer, bräunlich gefärbter, dünnwandiger Zellen der Gefässbündelscheide abschliesst (Fig. 319 *P* und *S*). Im Fruchtstiel nimmt das seiner Gestalt und seinen Elementartheilen nach bereits weiter oben beschriebene doppeltsträngige Gefässbündel die Mitte ein, während bei dem unterirdischen Stengel von Marsilea innerhalb des Gefässbündels und durch eine Innenscheide von ihm getrennt ein centraler Strang sehr stark verdickter, braun oder gelb gefärbter faserartiger Zellen vorhanden ist (Fig. 319 *M*).

Fig. 319.

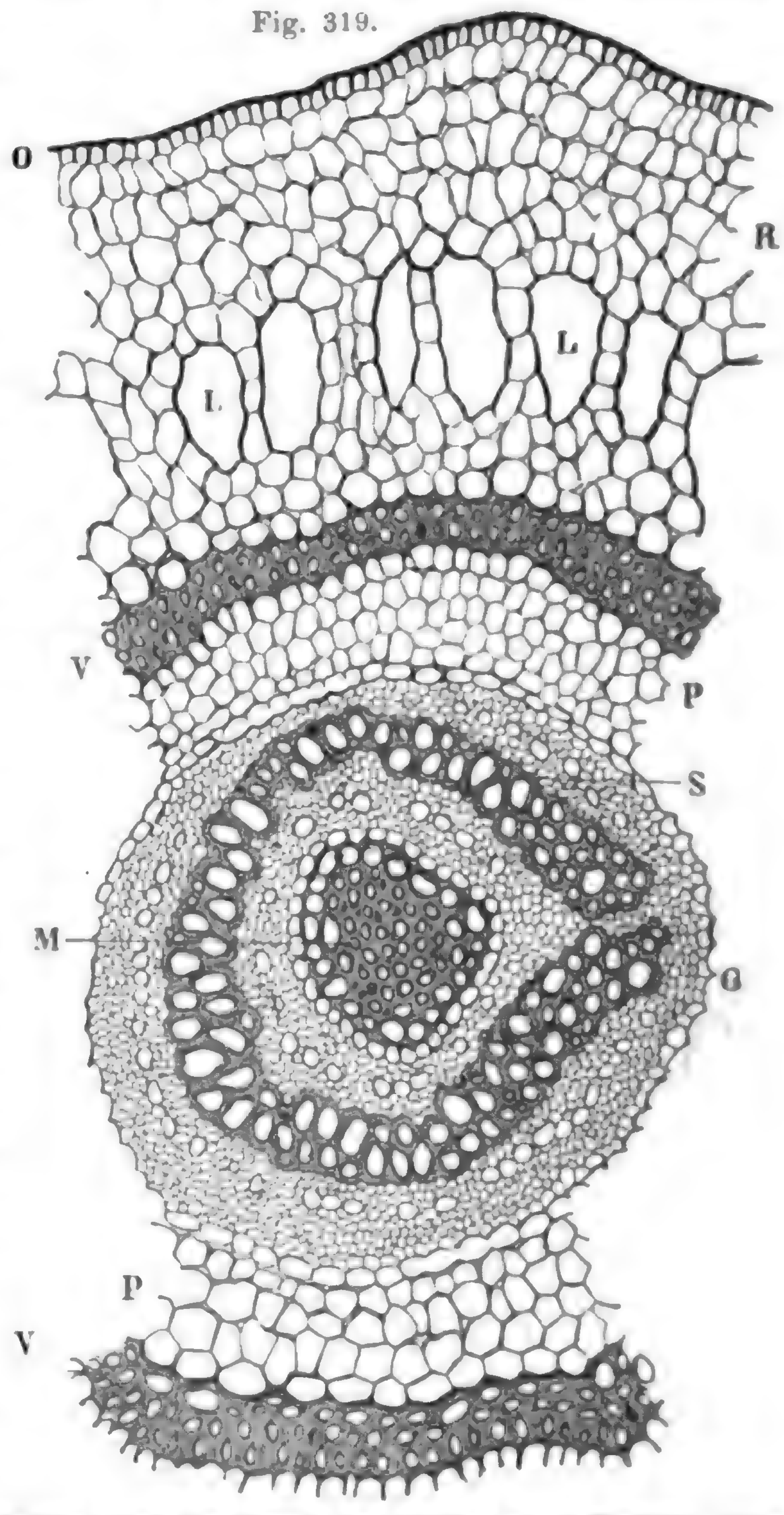


Fig. 319. Theil eines Querschnittes durch den Stengel von Marsilea sp. *O* Oberhaut, *R* von Luftgängen *L* durchbrochene Rinde, *V* Theile des Versteifungsringes, *PP* zartwandiges Parenchym, *S* theilweise zerrissene Gefässbündelscheide, *G* Gefässbündel, *M* centraler Strang verdickter Zellen (Mark). Vergr. 1 : 100.

III. Stamm und Blüthenschaft der Monokotyledonen.

Der Stamm der krautartigen Monokotyledonen besitzt immer, jener der holzartigen wenigstens in der Jugend eine Epidermis, deren

Digitized by Google

Zellen bei den Gräsern und Palmen eine grosse Menge von Kieselsäure enthalten und daher glasartig hart erscheinen. Bei den holzartigen und manchen krautartigen Monokotyledonen wird die Oberhaut in späterem Alter durch ein in den äusseren Rindenzellenreihen entstehendes Korkgewebe abgeworfen (Fig. 320 u. 323), so bei Dracaena Yucca, Cordyline, Anthurium, Dieffenbachia, bei manchen Palmen.

Fig. 320.

Fig. 320. Theil eines Querschnittes durch den Stengel von Pothos lucida. *O* Oberhaut, *K* Kork, *R* Rinde, *M* Milchsaftgang, G^{I} äussere, G^{II} innere Gefässbündel. Vergr. 1 : 120.

Hier und da (z. B. bei Chamaedorea gracilis (Fig. 322 a. f. S.) treten dicht unter der Oberhaut nur unter den Spaltöffnungen unterbrochene Reihen stark verholzter und verdickter oder collenchymatischer (Tradescantia virginica) Zellen als der Versteifung dienende Aussenrinde beziehentlich Unterhaut (Hypoderme) auf (Fig. 322 *St*).

Im Uebrigen wird die Innenrinde beziehentlich die ganze Rinde, welche bald nur in wenigen, etwa zwei bis sechs Reihen (Caladium, Canna, Saccharum, Arundo), bald in mächtigeren Lagen (Dracaena, Ruscus, Yucca, Aloë, Alisma, Potamogeton etc.) entwickelt ist und dann in einzelnen Fällen, namentlich bei Sumpf- und Wasserpflanzen, von Luftlücken oder Luftgängen unterbrochen wird (Alisma, Potamogeton u. a.) von auf dem Querschnitte polygonalem oder rundlichem Parenchym gebildet, dessen Zellen meist kaum oder nur mässig verdickt sind und in ihrer Längenausmessung verschiedentlich

Digitized by Google

wechseln. Hier und da finden sich in der Rinde Gruppen oder Reihen verdickter cuboidischer Zellen, sogenannte Steinzellen, häufiger jedoch einzelne Bündel von Faserzellen (Juncus, Scirpus u. a.) und unter Umständen wohl auch, namentlich bei dicken, von zahlreichen Luft-

Fig. 321. Fig. 322.

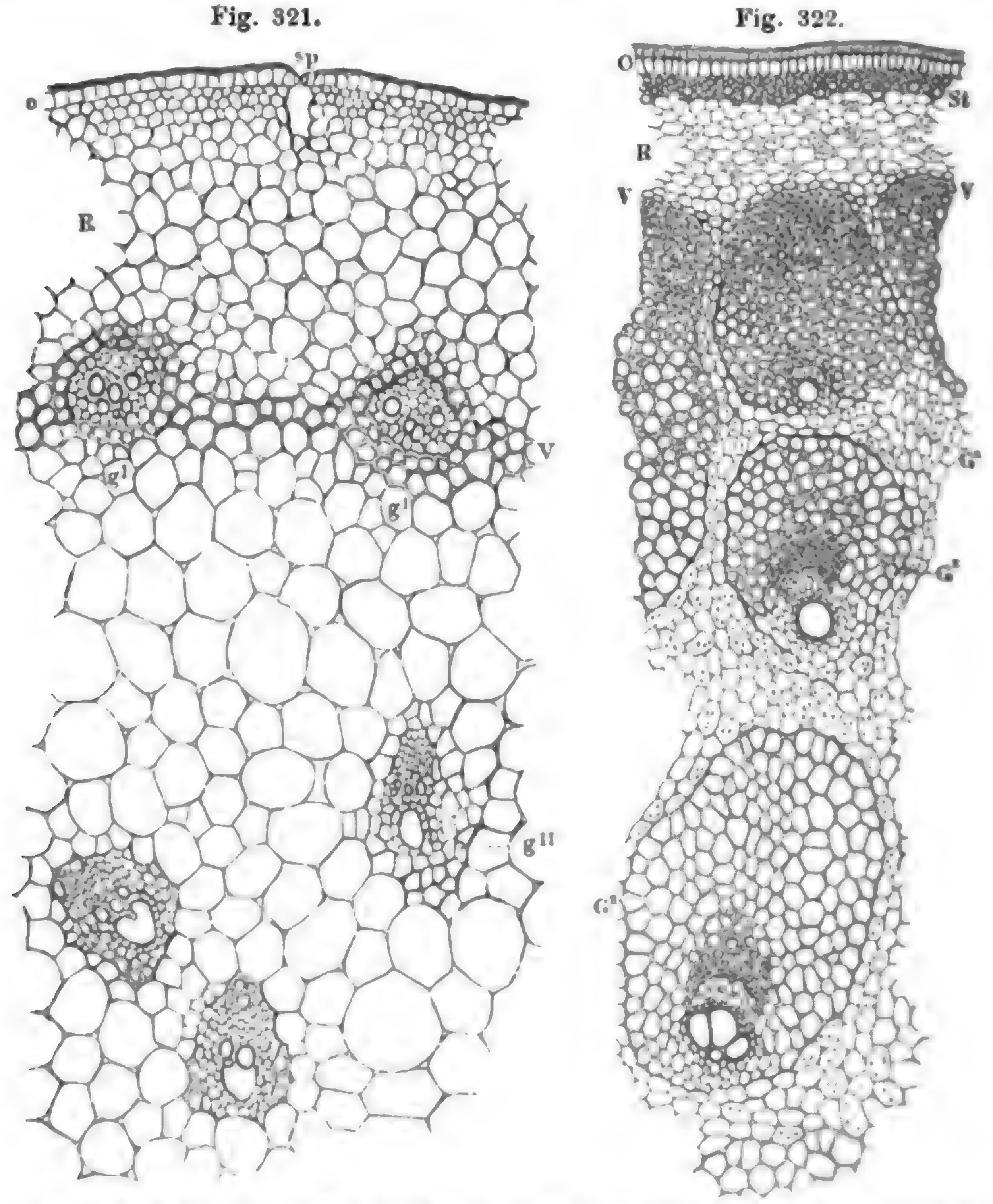


Fig. 321. Theil eines Querschnittes durch den Stengel von Tradescantia Selloi. *o* Oberhaut mit einer Spaltöffnung *sp*, *R* Rinde, *V* Versteifungsring mit den äusseren Gefässbündeln g^{I}; g^{II} innere Gefässbündel. Vergr. 1 : 75. — Fig. 322. Theil eines Querschnittes durch den Stamm von Chamaedorea gracilis. *O* Oberhaut, *St* versetzte und verdickte Rindenparenchymzellen, *R* Rindengewebe, *V V* Versteifungsring mit Parenchymstrahlen und den äusseren Gefässbündeln, G^{I} G^{II} ein neues Gefässbündel. Vergr. 1 : 75.

gängen durchsetzten Rindenlagen (Potamogeton, Alisma) reducirte Gefässbündel (Musa, Canna, Scindapsus etc.). Ebenso treten in manchen Familien und Gattungen Krystalle führende Zellen, einzelne Milchsaftröhren (Allium), sowie Milchsaftgänge (Anthurium [Fig. 320 *M*].

Digitized by Google

Fig. 323.

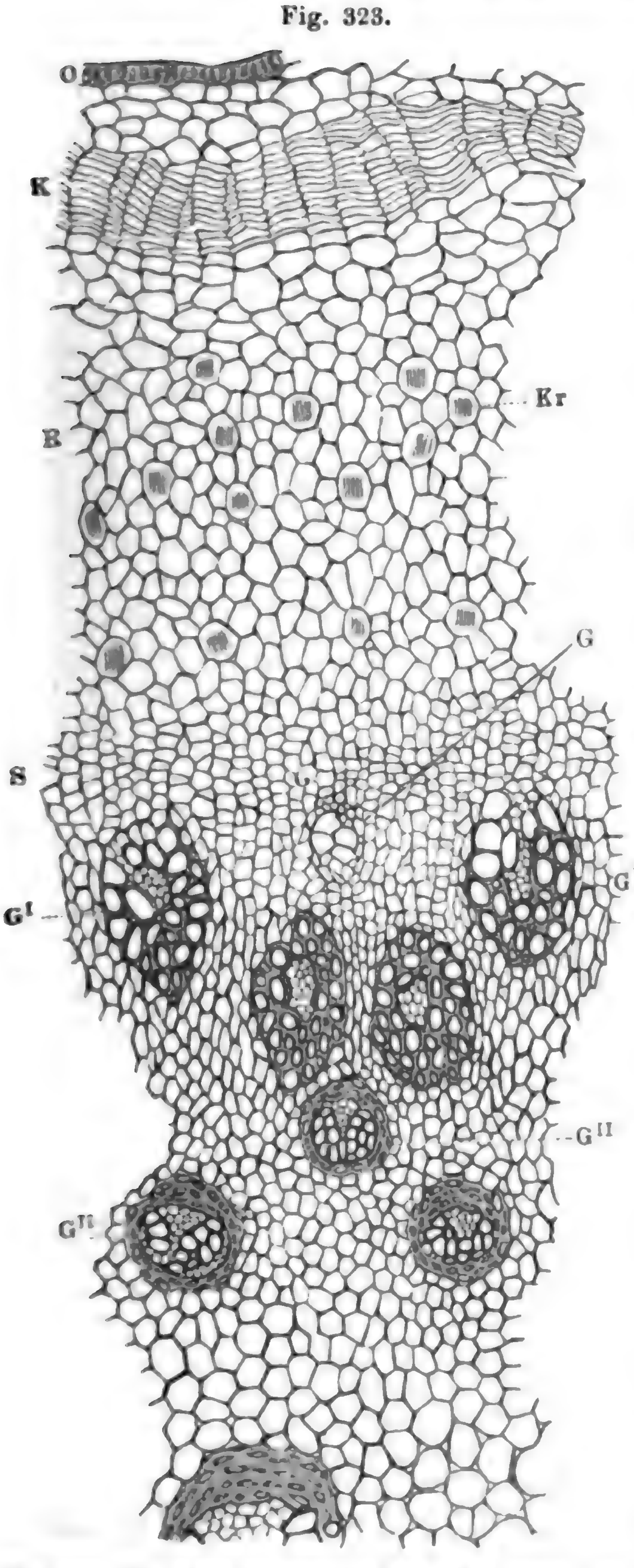


Fig. 323. Theil eines Querschnittes durch den Stamm von Dracaena Draco. *O* Oberhaut, *K* Kork, *R* Rindengewebe, *Kr* Krystallzellen, *S S* Verdickungsring, *G* ein neu entstandenes Gefässbündel, G^{I} äussere, gefässlose Gefässbündel, G^{II} innere Gefässbündel. Vergr. 1 : 75.

Alisma) und Harzgänge (Aloë) auf.

Bei manchen Monokotyledonen geht das Rindengewebe unmerklich und allmälig in das allgemeine Stengelparenchym über, so bei Anthurium, Pothos etc. (Fig. 320). Bei anderen wird das die Gefässbündel aufnehmende Innere des Stengels von demselben durch einen Ring mässig bis stark, vereinzelt (Potamogeton u. a.) einseitig verdickter, meist verholzter, langgestreckter, parenchym- oder faserartiger Zellen, der von älteren Autoren als Verdickungsring bezeichnete Versteifungsring (Fig. 321) getrennt, welcher bald nur in einer Reihe (Tradescantia Selloi, Alpinia [Fig. 321], Potamogeton), bis einigen Reihen (Alisma, Stengel und Blüthenschaft von Liliaceen, Iridaceen und Amaryllideen) entwickelt ist, bald eine bedeutendere Mächtigkeit besitzt (Palmen, Aloe, Asparagus, Ruscus aculeatus), und dann in durch von der Rinde ausgehende, abweichend gebaute, meist aus dünnwandigen isodiametrischen, porösen Zellen bestehende, schmälere oder breitere Parenchymstrahlen („Durchgangsreihen")

Digitized by Google

durchsetzt wird, welche sich weiter nach innen mit dem Grundgewebe vereinigen (Chamaedorea, Calamus, Geonema und wohl alle Palmen) und so gleichsam den Uebergang von dem zweiten zu dem ersten Fall vermitteln (Fig. 322). Dracaena und Yucca besitzen einen aus tangential gestreckten Zellen bestehenden Verdickungsring, in dem nach aussen sich noch längere Zeit hindurch neue, bei aufmerksamer Beobachtung in allen Entwickelungsstadien aufzufindende Gefässbündel und neue Grundgewebeelemente bilden (Fig. 323), welche zur Verdickung des Stammes beitragen. Alpinia nutans enthält in dem ausserhalb des geschlossenen und verholzten Verdickungsringes gelegenen, einen breiten Ring bildenden Parenchym zahlreiche, bis nahe unter die kleinzellige Oberhaut hinausrückende Gefässbündel, welche von den im Inneren gelegenen im Baue bedeutend abweichen.

Die collateralen, der aus der charakteristischen Zellform gebildeten Bündelscheide entbehrenden Gefässbündel, innerhalb deren sich, mit Ausnahme solcher Stengel, die im höheren Alter hohl werden, ein kaum als solches aufzufassendes nur unbedeutendes Mark findet, stehen vereinzelt bisweilen, auch zu zwei oder mehreren verschmolzen[1]) inner-

Fig. 324.

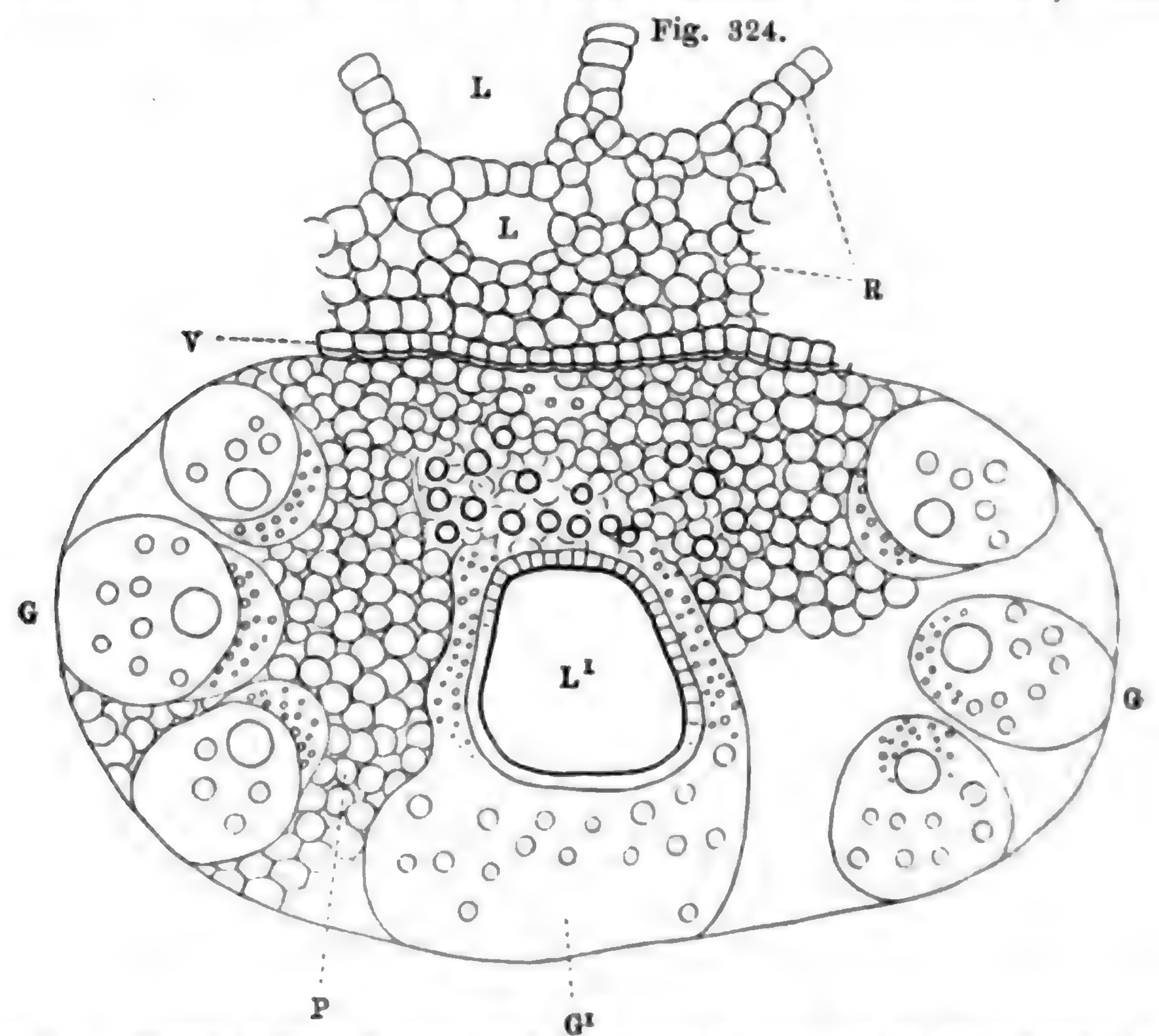


Fig. 324. Querschnitt durch den Stengel von Potamogeton natans. *R* Rinde mit Luftgängen *L*. *V* Versteifungsring, *G* seitliche Gefässbündel, G^1 die vier mittleren verschmolzenen Gefässbündel mit dem grossen Luftgange L^1, *P* Grundgewebe. Vergr. 1 : 50.

[1]) Einen belehrenden Fall nach dieser Richtung bietet Potamogeton, bei welchem bisweilen die vier mittleren (je beiderseits zwei) Bündel des

Digitized by Google

halb des allgemeinen, in manchen Fällen, namentlich bei Sumpf- und Wasserpflanzen (so bei Scirpus, Sparganium u. a.), von mehr oder minder ausgedehnten Lufträumen unterbrochenen Stengelparenchyms, welches somit als Zwischengewebe aufzufassen ist, ohne eigentliches Strahlengewebe zu bilden. Bei den meist nur wenig von einander entfernten äusseren, wo derselbe vorhanden, in der Regel von dem Versteifungsring aufgenommenen Gefässbündeln und den zunächst nach innen folgenden, sowie bei den einen mittelpunktständigen Ring bildenden von Sagittaria und Potamogeton, macht sich eine kreisförmige Anordnung geltend; die weiter nach innen gelegenen, weiter aus einander gerückten dagegen nehmen eine mehr unregelmässig zerstreute Stellung an. Ueber Bau und allgemeine Ausgestaltung der Gefässbündel sowie über abweichende Typen ist weiter oben (S. 368 u. f.) eingehend gehandelt worden und ist diese sowohl, wie wir a. a. O. gesehen haben, wie die besondere durch ihre peripherische oder centrale Stellung bedingte Anordnung und Ausbildung ihrer Elemente verschieden. Auch die Structur, wie die Verdickungsweise der Zellen des Grundgewebes zeigen mancherlei Verschiedenheiten. Ferner treten innerhalb der Gefässbündel Luft oder eigenthümliche Säfte führende Behälter oder Krystalle enthaltende Zellen auf (Alisma, Potamogeton, Xanthosoma u. a., Fig. 252 und 253, S. 378 und 379).

Auf alle diese den Bau des Stengels bedingende Verschiedenheiten, welche durch Quer- und in verschiedenen Richtungen geführte Längsschnitte klar zu stellen sind, ist bei einer vergleichenden Untersuchung Rücksicht zu nehmen. Ausserdem hat man dem Zellinhalte der verschiedenen Gewebesysteme seine Aufmerksamkeit zuzuwenden und namentlich auch darauf zu achten, ob sämmtliche Zellen der Rinde zu gewissen Zeiten Krystalle führen (Tradescantia, Comelina), oder ob sich nur einzelne krystallführende Zellen und in welcher Anordnung finden, endlich ob Krystalle verschiedener Form und in welcher Vertheilung (Tradescantia, Dracaena, Pandanus) dieselben angetroffen werden.

Ueber die verschiedenartige chemische Beschaffenheit der Wandungen der einzelnen Zellenformen werden die bereits in den vorhergehenden Abschnitten empfohlenen einfache Färbungen mittelst der Pectose anzeigenden, unverholzte und verholzte Gewebe oder Gewebetheile durch den Farbenton unterscheiden lassende Färbeflüssigkeiten oder Doppelfärbungen den erforderlichen Aufschluss gewähren.

IV. Stamm der Dikotyledonen und Nadelhölzer.

In dem Stamme der genannten Gewächse tritt — selbst da, wo derselbe in seinem allgemeinen Baue, namentlich in der Anordnung der

---

Centralcylinders sammt ihren Luftgängen verschmelzen, so dass der Mittelpunkt des Stengels von einem grossen Luftgange eingenommen wird (Fig. 324).

Digitized by Google

Gefässbündel, noch einige Aehnlichkeit mit jenem der Monokotyledonen zeigt — eine scharfe Trennung der verschiedenen Gewebe hervor, indem in der bei weitem grössten Zahl die Trennung von Aussen- und Innenrinde, Gefässbündel und Mark entschieden ausgesprochen erscheint.

Alle Dikotyledonen und Nadelhölzer besitzen in der Jugend eine wahre Epidermis mit Spaltöffnungen, welche oft schon im ersten Jahre, allein oder im Vereine mit einem Theile der Rinde und in manchen Fällen des Gefässbündels, durch die Bildung des Korkgewebes abgeworfen wird, hier und da aber auch bei Holzgewächsen sich lange Jahre, d. h. so lange erhält, als Stamm und Aeste die grüne Farbe behalten. Das Korkgewebe kann entweder in der Oberhaut selbst oder in der Rinde, und zwar in verschiedener Tiefe, bisweilen auch in dem Weichbaste entstehen und je nach den verschiedenen Gattungen und Arten, bei denen es auftritt, eine verschiedene Structur beobachten lassen, worauf bei der Charakterisirung des histologischen Baues bestimmter Pflanzen zu achten ist. Die hier in Betracht kommenden Verhältnisse sind bereits in dem vorhergehenden Abschnitte abgehandelt und brauche ich nur dahin zurückzuweisen.

Die Rinde — unter welcher ich nur den ausserhalb des Gefässbündels gelegenen Theil des Stengels verstehe, so dass die Unterscheidung in primäre und secundäre (Basttheil des Gefässbündels) Rinde hinwegfällt — kann in verschieden mächtiger Masse entwickelt und in ihren inneren und äusseren Schichten nur aus gleichartigen oder auch, was häufiger ist, aus verschieden gebauten, in einen völlig geschlossenen Ring oder in einzelne, mehr oder minder ausgedehnte Bündel geordneten Zellen gebildet sein, so dass sich eine Aussen- und Innenrinde unterscheiden lässt. Ueber den Bau dieser beiden Rindenschichten ist bereits bei der Betrachtung der Grundgewebe (S. 308 u. f.) gesprochen worden und sind dort auch alle jene Besonderheiten hervorgehoben, welche durch spätere Umbildungen von ursprünglichen Rindenparenchymzellen, sowie durch das Auftreten von fremden Elementen, wie Bastfasern, Bast-, Milchsaftgefässen u. s. w., in der Innenrinde hervorgerufen worden und welche bei den einschlägigen Untersuchungen die Beachtung des Beobachters in Anspruch zu nehmen haben. Ausser diesen Punkten müssen die Vertheilung der verschiedenen Inhaltselemente: des Chlorophylls, der Stärke, welche häufig in der innersten Reihe oder einigen der innersten Reihen der Rindenzellen, welche die die Bastbündel oder wo dieser vorhanden ist, den Versteifungsring von den chlorophyllführenden Rindenzellen trennende „Stärkescheide“ bilden, besonders angehäuft erscheint, des Gerbstoffes u. s. w., das Vorkommen von eigenthümlichen Säften, Gummi, Oel, Milchsaft, Harz und der entsprechenden Behälter, der Krystalle, die Anordnung und der Bau der dieselben enthaltenden Zellen, die in einzelnen Gruppen, in senkrechten Reihen u. s. w. auftreten können, besonders ins Auge gefasst werden.

Digitized by Google

Die Hauptpunkte, auf die es bei der an Quer- und Längsschnitten auszuführenden, durch die Anwendung der über den Zellinhalt wie den chemischen Bestand der Zellwände Aufschluss gewährenden Reagentien und Färbeflüssigkeiten unterstützten Untersuchung von Oberhaut, Kork und Rinde ankommt, sind kurz zusammengefasst folgende:

1. Structur der Oberhaut und der dieselbe zusammensetzenden Zellen, nebst Bau, Vertheilung und Anordnung der Spaltöffnungen, sowie der etwa vorkommenden Anhangsorgane, Haare, Stacheln, Drüsen u. s. w.
2. Genaue Charakterisirung des Korkgewebes und Bestimmung des Ortes, wo dasselbe entsteht, sowie Feststellung derjenigen Theile, welche durch ihn von der Rinde oder dem Basttheile der Gefässbündel getrennt werden.
3. Das Fehlen oder Vorhandensein der Stärkescheide, sowie der deutlichen Trennung beider Rindenschichten und deren allgemeiner Bau. Dann:
4. Structur, Vertheilung und Zeit des Auftretens von den umgebildeten, ursprünglich normalen Elementarorganen, sowie von den fremden Gewebebestandtheilen.

Dass für die vollständige Darlegung dieser verschiedenen Verhältnisse nicht etwa Schnitte durch einen einzigen Alterszustand des Stammes einer vorliegenden Pflanze genügen, leuchtet ein. Es müssen vielmehr, da wenigstens einzelne derselben sich im Laufe des langjährigen Pflanzenlebens erst heranbilden oder ändern, Präparate aus den verschiedensten Altersstufen der Beobachtung unterworfen werden.

Die mit Ausnahme der einen durch eine Bündelscheide von der Rinde getrennten mittelständigen Ring bildenden concentrischen, manchen Wasserpflanzen (Hippuris, Myriophyllum u. a.) collateralen, in einzelnen Fällen, z. B. bei Cucurbitaceen (Cucurbita, Bryonia u. a. Fig. 325 a. f. S.), bicollateralen G e f ä s s b ü n d e l liegen in den normal gebauten Stengeln und Stämmen entweder vereinzelt in dem von der Rinde umschlossenen, und von dieser in der Regel — wie bei den Monokotyledonen — durch einen aus verdickten und verholzten, mehr oder minder faserähnlichen Zellen gebildeten Versteifungsring (Cucurbita, Bryonia, Ranunculus, Chelidonium etc.) (Fig. 325 *V*) getrennten Grundgewebe, oder sie bilden einen von breiteren oder bei vollkommener Ausbildung (Holzgewächse) einen aus den drei Zellenarten zusammengesetzten, das mehr oder minder mächtig entwickelte Mark umgebenden, von schmäleren Zwischengewebestreifen, den Markrinden- und Bündelstrahlen durchsetzten, hier und da, z. B. Aristolochia Sipho, durch einen an jährigen Zweigen zusammenhängenden, an älteren von Parenchymstreifen („Durchgangsreihen") durchsetzten Versteifungsring von der Innenrinde getrennten Hohlcylinder (s. Fig. 281, S. 418 u. Fig. 326 I, S. 471).

In dem Basttheile des Gefässbündels treten in morphologischer Beziehung mannigfache Verschiedenheiten auf. Manche Holzgewächse

Digitized by Google

entwickeln nur im ersten Jahre Bastfaserbündel, während später nur noch die beiden anderen Elementartheile, Siebröhren (Bastgefässe), Geleitzellen und Bastparenchym sich aus dem Cambium entwickeln,

Fig. 325.

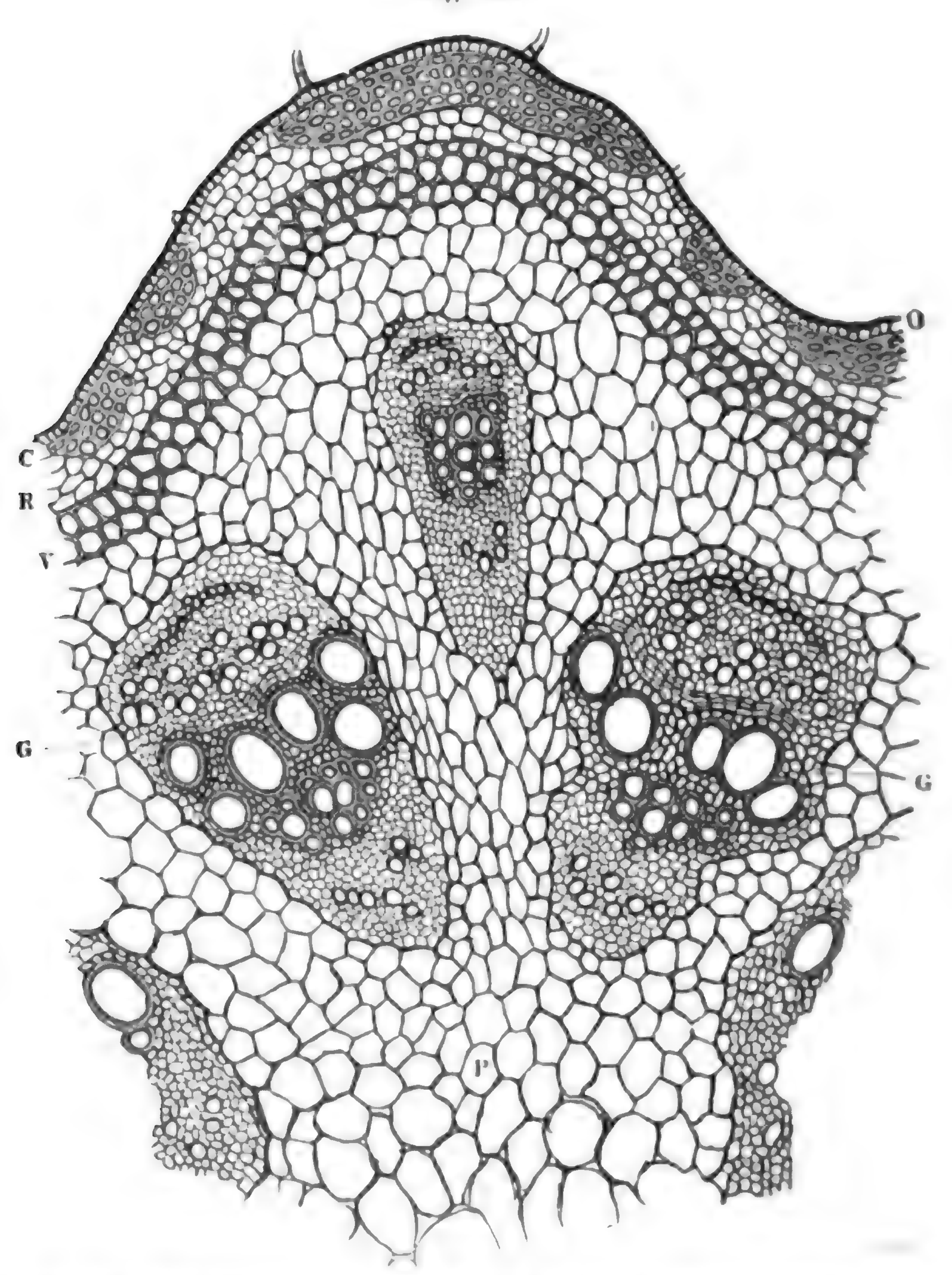


Fig. 325. Theil eines Querschnittes durch den Stengel von Bryonia alba. *O* Oberhaut, *C* Aussenrinde (Cellenchym), *R* Innenrinde, *V* verholzter Verdickungsring, *P* Stengelparenchym, *G* Gefässbündel. Vergr. 1 : 80.

während zugleich im letzteren Quertheilungen und eine starke Verdickung und Verholzung der so entstandenen, häufig unregelmässig in einander geschobenen Zellen mitwirkten (Fagus, Betula, Platanus, Abies, Larix,

Digitized by Google

Araucaria, wo neben regelmässig alljähriger Fortbildung des Bastes ein Theil des älteren Bastparenchyms eigenthümliche Umbildungen erleidet, aus denen die weiter oben erwähnte, eigenthümlich verzweigte und verholzte Zellenform hervorgeht). Bei anderen entstehen alljährig alle drei Zellenarten des Bastes mit einer verschiedenartigen Anordnung der Bastfasern, welche in den späteren Jahresschichten bei Corylus, Aesculus, Larix, Araucaria ohne bestimmte Ordnung nur in einzelnen Individuen oder Gruppen auftreten, bei den Cupressineen und Taxineen einfache, bei Tilia, Quercus, Populus, Liriodendron u. a. mehrreihige, tangential geordnete Gruppen oder Bänder bilden.

In dem Holztheile sind es besonders die ersten Jahresringe, welche sich von den folgenden mehr gleichmässig gebauten unterscheiden. Namentlich weicht in der Regel der erste Jahresring durch das Vorhandensein der Ring-, Spiral- und Netzgefässe, sowie durch die mehr gleichmässige Ausbildung aller Theile von allen folgenden ab. In ihm, wie in den zunächst älteren, treten aber ausserdem noch Verschiedenheiten in Bezug auf die Grösse und Anordnung der Elementarorgane auf, welche zur Charakterisirung des Holzes von Wichtigkeit sind. So nehmen z. B. bei unseren Eichen, Buchen, Eschen u. s. w. die Gefässe nicht nur, sondern auch die Holzfasern, erstere namentlich an Grösse, letztere an Grösse und Stärke der Zellwand zu, bis nach einer gewissen Reihe von Jahren etwa in gleichem Verhältnisse wechselnde Ausmessungen von den inneren nach den äusseren Theilen des Jahreszuwachses erscheinen. Wo die verschiedenen Zellen-

Fig. 326. II

Fig. 326. I

Fig. 326. I. Querschnitt durch den Stengel einer holzigen Piperart; g normale Gefässbündel, g^1 isolirte Gefässbündel im Marke. Vergr. 1 : 5. — II. Desgleichen durch eines der letzteren Gefässbündel. Vergr. 1 : 150.

Digitized by Google

formen eine genau bestimmte Anordnung in den verschiedenen Theilen des Jahresringes beobachten lassen, wie das weiter oben S. 391 u. f. erörtert wurde, da tritt dieses Verhältniss in dem ersten oder den paar ersten Jahresringen entweder ganz zurück oder doch nur in verhüllter Weise auf (Quercus, Robinia, Catalpa Caesalpinia, Tilia u. s. w.).

Innerhalb des geschlossenen Gefässbündelkreises finden sich ausserdem isolirte markständige, vollständige, mit dem Basttheile nach der Rindenseite, mit dem Holztheile nach dem Marke gewendete Gefässbündel in den Familien der Solanaceen, Piperaceen, Begoniaceen, sowie (nach Sanio) bei den Umbelliferen, Araliaceen und Melastomaceen (Fig. 326 I. u. II a. v. S., auch Fig. 201, S. 306 und Fig. 278, S. 412), während bei Tecoma radicans ein innerhalb der Markscheide gelegener Cambiumring nach aussen hin die Elemente des Holzes, nach dem Centrum des Stammes aber die Elemente des Bastes erzeugt.

Inwieweit gleiche oder ähnliche Structurverhältnisse auch bei noch anderen Familien auftreten, muss die vergleichende Histiologie zu ermitteln suchen, und möchte bei derartigen Untersuchungen nicht zu unterlassen sein, besonders hierauf zu achten.

Einen völlig abnormen Bau zeigen die Stämme der tropischen Schlingpflanzen, der Bignonien, Malpighiaceen, Sapindaceen, Meni-

Fig. 327.

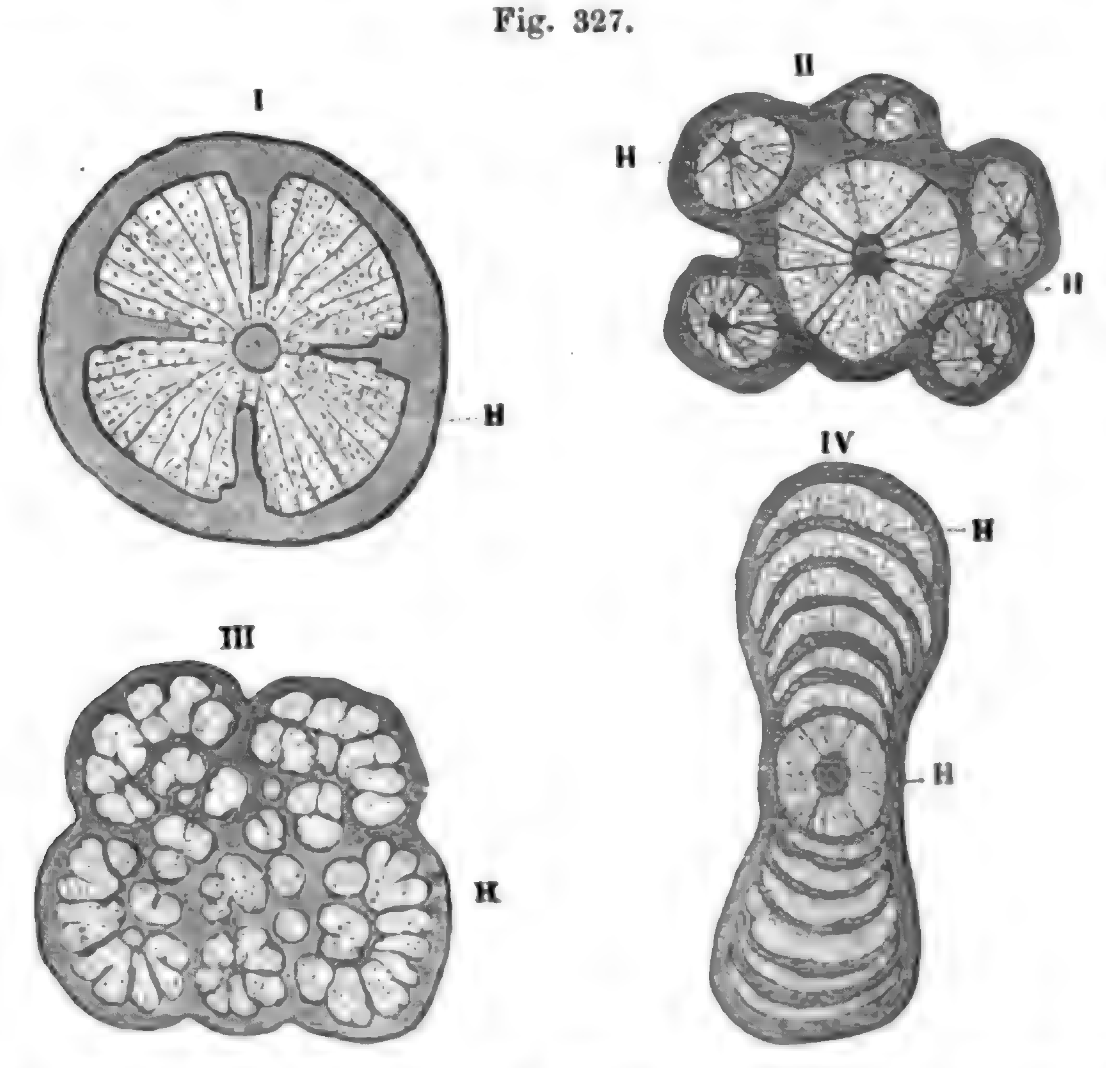


Fig. 327. Querschnitt des Stammes: I. von Bignonia, II. von Serjania, III. von Ipomaea, IV. von Caulotretus.

Digitized by Google

spermeen, mancher Ipomaeen etc., wo der Holztheil des Gefässbündels in wunderlicher Weise bald mehr, bald weniger mittelst Bastringen oder Bastblättern, hier und da wohl auch mittelst Rindengewebes zerklüftet erscheint (Fig. 327 I.), oder mehrere ein mehr oder minder excentrisches Mark einschliessende, durch Bast und Rindenparenchym von einander getrennte Holzkörper den Stamm bilden (Fig. 327 II. bis IV.). Hier muss über das Verhältniss dieser verschiedenen Gewebetheile zu einander die Entwickelungsgeschichte die Daten zum richtigen Verständniss an die Hand geben. Ich beschränke mich daher darauf, einige die Haupttypen dieser Abnormitäten wiedergebende Abbildungen anzufügen und das Studium der Heranbildung dieser Abnormitäten allen denen zu empfehlen, denen das Material hierzu erreichbar ist.

Zur Ermittelung des Baues von Holz und Bastring, ferner die Veränderungen, welche in zahlreichen Fällen in den Holzkörper durch die Bildung von Splint- und Kernholz eintreten, muss neben der an Querschnitten radialen und tangentialen Längsschnitten, sowie an Macerationspräparaten, und unter Anwendung der bei den Untersuchungen über das Gefässbündel beschriebenen Reactions- und Färbungsmethoden vorzunehmenden Untersuchung über Bau, Anordnung und Inhalt der einzelnen Elementarorgane, welche an der im vorhergehenden Abschnitte für eine Anzahl von Pflanzen näher betrachteten Zusammensetzung von Bast- und Holztheil sich betheiligen, sowie über das Verhältniss des Zwischengewebes zu diesen, insbesondere auch die Verbindung seiner Zellen mit denjenigen des Speichergewebes, noch die Beobachtung jener Verhältnisse hinzutreten, welche sich im Laufe der Entwickelung heranbilden. Hierher gehört namentlich die Beachtung derjenigen Verschiedenheiten, welche sich in Folge der jährlichen Wachsthumsperioden einfinden und welche den Bau der einzelnen Jahresringe von Bast und Holz bedingen.

Das Mark nimmt den mittleren Theil des Stammes ein und erscheint nur bei ungleichseitigem, durch äussere Einflüsse bedingtem, oder bei in gewissen Organisationstypen (s. o.) begründetem Wachsthum mehr oder minder excentrisch. Dasselbe besteht, wie wir bereits früher gesehen haben, aus Parenchym, dessen Zellen in der Regel nur geringe secundäre Verdickungsschichten beobachten lassen, bei manchen Pflanzen aber auch stärker verdickt erscheinen. Die Gesichtspunkte, welche bei der Untersuchung dieses Stammtheiles maassgebend sind, wurden bereits weiter oben S. 303 u. f. eingehender behandelt; hier bleibt nur noch zu erwähnen, dass in einzelnen Fällen ein Theil des Markes resorbirt wird, wodurch die einschlägigen Pflanzen einen hohlen Stengel oder Stamm erhalten (Clematis, Ceratophyllum, Scorzonera, Sonchus u. s. w.).

Digitized by Google

Zweites Kapitel.

Bau der Wurzel.

I. Wurzel der Kryptogamen.

Die echte Wurzel erscheint erst bei den Gefässkryptogamen. Bei den Muscineen mit oder ohne rudimentäre Gefässbündel treten an

Fig. 328.

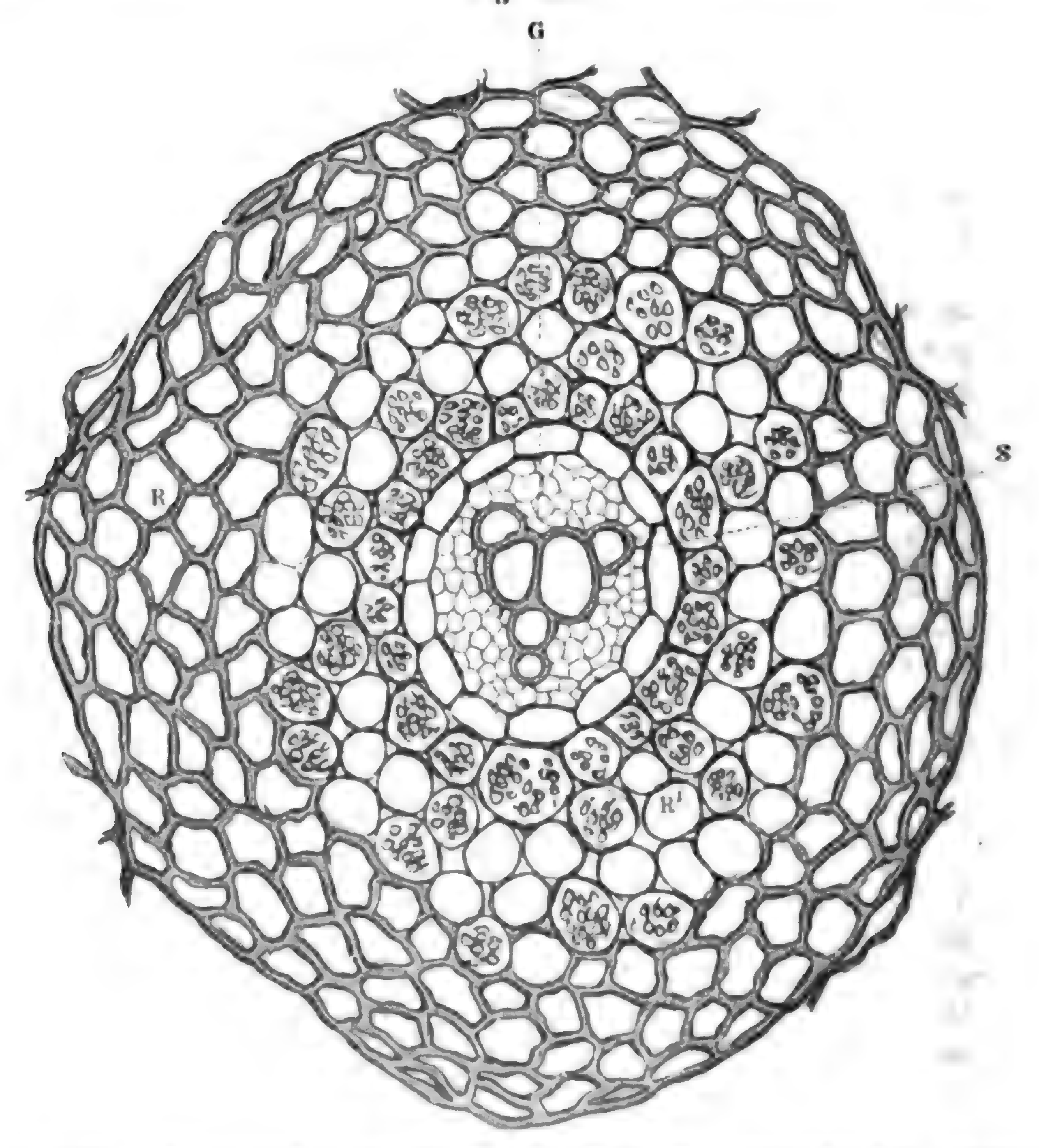


Fig. 328. Querschnitt durch die Wurzel von Equisetum limosum. *G* Gefässbündel, *S* Gefässbündelscheide, *R* Aussenrinde, *R*[1] Innenrinde. Vergr. 1 : 200.

deren Stelle einzellige Wurzelhaare, welche von einzelnen Zellen der Oberhaut des Stengels der Laub- und Lebermoose ausgehen.

Digitized by Google

Im Allgemeinen zeigt der histiologische Bau der Kryptogamenwurzel, dessen Beobachtung in der gleichen Weise, wie der des Stengels auszuführen ist, eine ziemliche Uebereinstimmung und treffen die Verschiedenheiten meistens die Wurzelrinde.

1. Wurzel der Schachtelhalme.

Die Wurzel der Schachtelhalme besitzt eine mit zahlreichen braun gefärbten Wurzelhaaren versehene, aus dünnwandigen, verkorkten, braun gefärbten, vertrocknenden Zellen bestehende Oberhaut, welcher, wie der Wurzeloberhaut überhaupt, die Spaltöffnungen abgehen. Unter der Oberhaut, die im höheren Alter oft zerstört wird, liegen mehrere Reihen in der Regel etwas stärker verdickter, dunkelbraun gefärbter Parenchymzellen, von denen die äusseren inhaltleer sind, die inneren aber Stärkemehl führen und in das weniger oder nicht gefärbte zartwandigere, stärkemehlreiche Innenparenchym übergehen. Auf diese Weise erscheint das Rindengewebe in Aussen- und Innenrinde geschieden. Das Gefässbündel nimmt die Mitte der Wurzel ein. Der Holztheil besteht entweder aus einem weiten Spiralgefässe (nach Schacht) oder es ist radial gebaut und enthält neben den nach dem Stengelumfange gewendeten, zuerst entstandenen Ringgefässen einige Spiralgefässe, von denen die inneren, an einander schliessenden oft eine bedeutendere Weite erreichen. Ausser diesen Elementen erscheinen in deren Umgebung noch zartwandigere Zellen von kleinerem Lumen als die Rindenzellen, aber wo sie zwischen den Schenkeln der Holzgefässe stehen, unter sich an Weite etwas verschieden. Letztere sind die Elemente des Bastes und es lassen sich dieselben als Parenchymzellen und Siebröhren unterscheiden. Von dem Rindenparenchym wird das Gefässbündel, dessen äussere zartwandige Zellenreihe auch als Pericambium oder Pericykel bezeichnet wird, durch eine Lage tangential etwas gestreckter, den schwarzen Punkt zeigender, öfter stark zusammengedrückter Zellen geschieden, welche die Bündelscheide bilden.

2. Wurzel der Bärlappgewächse.

Die Wurzel dieser Pflanzenclasse, in der sich zwei verschiedene Rindenparenchymschichten als Aussen- und Innenrinde darstellen, besitzt gleich dem Stengel ein centrales, nur aus wenigen Gefässen, Bastparenchymzellen und Bastgefässen gebildetes, meist zweischenkelig radiales Gefässbündel, das nächst der Gefässbündelscheide unmittelbar von dem zartwandigen, kleinzelligen Rindenparenchym umschlossen wird, dem also entweder der aus dickwandigen Zellen bestehende Versteifungsring oder das lockere Schwammgewebe, welche im Stengel vorkommen, abgehen. Die Oberhaut entsendet hier ebenfalls Wurzelhaare, welche ungefärbt sind und eine zartwandige Beschaffenheit besitzen.

Digitized by Google

3. Wurzel der Farnkräuter.

Die Oberhaut ist hier theils einreihig, theils über den ganzen Umfang oder nur an einzelnen Stellen mehrreihig und besteht aus dünnwandigen, verkorkten, braun gefärbten Zellen. Dieselbe besitzt zahlreiche, derbwandige, mehr oder minder dunkelgelb bis braun gefärbte Wurzelhaare. Die Rinde ist bei verschiedenen Gattungen und Arten

Fig. 329.

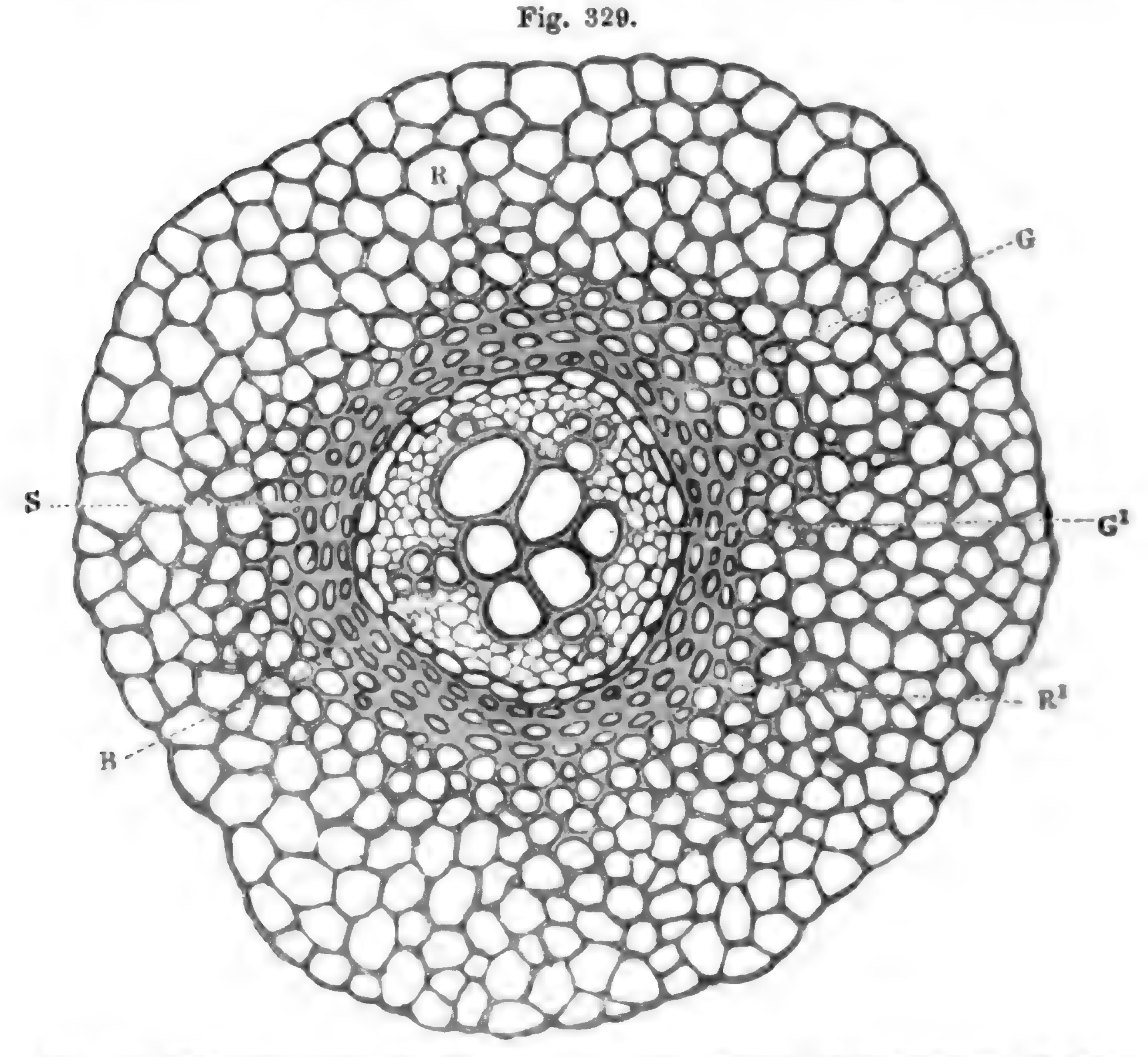


Fig. 329. Querschnitt durch eine Wurzel von Alsophila australis. *G* Spiralgefässe, *G*¹ weite Treppengefässe, *B* Basttheil des Gefässbündels, *S* Gefässbündelscheide, *R* Aussenrinde, *R*¹ Innenrinde. Vergr. 1 : 200.

verschieden gebaut, zeigt aber im Allgemeinen drei Typen. Es treten nämlich entweder, wie bei Cyathea, Balantium u. a., unter der Oberhaut mehrere Reihen von mehr oder minder dickwandigen, faserartigen, gefärbten und dann in der Nähe des Gefässbündels solche von dünnwandigen, häufig gefärbten Parenchymzellen auf, oder es folgen auf einige Reihen eines dünnwandigen gefärbten Parenchyms mehrere concentrische Lagen dickwandiger, faserartiger Zellen, welche das Gefässbündel einschliessen (Alsophila, Aspidium, Polypodium, Fig. 329), oder

Digitized by Google

es ist endlich das ganze Gewebe nur aus dünnwandigen Zellen gebildet, welche hier und da bis in die unmittelbare Umgebung des Gefässbündels dunkelbraun gefärbte Wände besitzen (Asplenium Trichomanes etc.). Das Gefässbündel, welches mit Ausnahme von dem einschenkeligen von Ophioglossum (nach Strassburger) als ein drei- bis vierschenkelig centrales erscheint, nimmt die Mitte der Wurzel ein und wird von einer deutlich erkennbaren Gefässbündelscheide umgeben. Dasselbe besteht aus nur wenigen, drei bis zehn, bei dickeren Wurzeln auch mehr Gefässzellen und wird von engeren oder weiteren, im Winter reichlich Stärke führenden Parenchymzellen trübe umgeben, während der aus Bastparenchym und nur wenig weitlumigeren Siebröhren bestehende Basttheil zwischen den Schenkeln des Holztheiles liegt.

4. Wurzel der Rhizocarpeen.

Die Wurzel der Rhizocarpeen besitzt eine grosszellige, leicht vertrocknende und zerreissende, hellgelbe Wurzelhaare aussendende Oberhaut. Unter dieser treten eine bis wenige Reihen mässig verdickter, braun gefärbter Parenchymzellen mit kleinem Lumen auf, welche dann mehr allmälig oder mehr plötzlich in einen mehrreihigen Hohlcylinder von stark verdickten, faserförmigen, braun gefärbten Zellen übergehen. Letzterer umschliesst das von ihm durch eine zarte Bündelscheide getrennte, centrale, zweischenkelig radiale, in die Quere gezogene Gefässbündel, welches in dem Holztheile aus einigen engen, an den Polen der Längsachse stehenden und einer oder einigen weiteren Holzgefässen in dem an den beiden Längsseiten des ersteren gelegenen Basttheile aus engerem Bastparenchym und wenig weiteren Siebröhren zusammengesetzt ist.

Im Allgemeinen betrachtet, giebt sich nur für die Schachtelhalme und Farnkräuter ein grösserer Unterschied zwischen dem Baue des Stengels und der Wurzel zu erkennen, indem dort mehrere zerstreute, und zwar bei ersteren collaterale, bei letzteren mit den früher erwähnten Ausnahmen concentrische, hier nur ein einziges centrales, bei den Schachtelhalmen ausserdem des Luftganges ermangelndes radiales Gefässbündel auftreten. Bei den Bärlappen und Rhizocarpeen dagegen ist die Stellung der Gefässbündel in Stengel und Wurzel die gleiche, und es unterscheiden sich dieselben nur in Anordnung der Elemente oder der Form. In der Wurzel bildet nämlich in dem radialen Gefässbündel der Holztheil überall einen ununterbrochenen Strang, während er in dem Stengel bei den ersteren als Theil des radialen Gefässbündels in mehrere von den Bastbändern getrennte Bänder oder Gruppen geordnet ist, bei den anderen mit concentrischem Gefässbündel aus einem nicht völlig geschlossenen, ein Mark umschliessenden Cylinder (im Stengel) oder aus zweien, mit der convexen Seite einander zugekehrten Bogen (im Fruchtstiel) gebildet wird.

Digitized by Google

Die Entwickelungsgeschichte sowohl wie die Betrachtung des fertigen Organes gewähren die Ueberzeugung, dass die Entwickelungsfolge der Gefässe sämmtlicher Gefässkryptogamen eine von einigen (zwei bis vier) Punkten aus beginnende (siehe Fig. 329) centripetal fortschreitende ist.

II. Wurzel der Phanerogamen.

1. Wurzel der Monokotyledonen.

Die Oberhaut der monokotyledonen Wurzel besteht theils aus einseitig (manche Gräser etc.), theils aus gleichmässig verdickten Zellen. Sie treibt meist zahlreiche Wurzelhaare und wird oft im späteren Alter durch Korkbildung abgeworfen.

Die Rinde bildet eine ziemlich mächtige Lage des Organes. Sie besteht aus dünnwandigem Parenchym, dessen Zellen entweder sämmtlich polygonal bis rundlich gestaltet sind (Smilax), oder in den äusseren Schichten eine polygonale, in den inneren aber eine rechteckige bis quadratische Form (Anthurium, Pothos, Musa u. s. w.) besitzen. Eine Scheidung in Aussenrinde tritt in manchen Fällen deutlich hervor. Nur hier und da, z. B. bei Anthurium, Pothos u. a. finden sich in diesem Gewebe mehr oder minder zahlreiche unvollständige Gefässbündel ein, bei denen einige der zartwandigen Elemente oder ein von kleinen Parenchymzellen umgebener Milchsaftgang von einem Kreise von Fasern eingeschlossen werden. Innerhalb der Rinde tritt bei jenen Pflanzen mit gleichartiger Rinde eine aus abweichend gebauten, entweder nicht verdickten (Orchideen, Acorus, Luftwurzeln) oder einseitig (Dracaena, Smilax, Veratrum, Iris u. a.) bis allseitig verdickten (Smilax, Palmen), verholzten und gestreckten, im ersten Falle die durch Caspary bekannt gemachte Streifung (durch Faltung) auf den tangentialen, der schwarze Punkt auf den radialen Seitenwänden zeigenden Zellen gebildete, bei merkbarer Wandverdickung an mehreren Stellen von einer oder zwei zartwandigen Zellen, den „Durchgangszellen", durchbrochene Gefässbündelscheide auf (Fig. 330 *S*), unter der sich noch hier und da (Iris, Smilax, Luftwurzel der Orchideen) eine oder einige Reihen dünnwandigen Parenchyms (Pericambium, Pericykel) einfinden.

Die radialen Gefässbündel bilden bei den Monokotyledonen immer einen geschlossenen, ein in geringerer oder bedeutenderer Ausdehnung entwickeltes, aus zartwandigen (Smilax) oder aus schwächer bis stärker verdickten (Veratrum) Zellen gebildetes Mark einschliessenden Hohlcylinder. Die Holzgefässe stehen in mehr oder minder regelmässig radial geordneten, hier und da an ihrem Ende gabelförmig getheilten Reihen. Dieselben sind am weitesten nach innen porös oder auch netzförmig verdickt und werden von den faserigen Elementen des Holzkörpers von einander getrennt und umgeben. Nach aussen werden sie

Digitized by Google

enger, besitzen mehr oder minder stark in die Quere gezogene, behöfte Poren oder Netzmaschen und gehen endlich an der äussersten Grenze in sehr enge Spiral- und Ringgefässe über (Fig. 330 u. 331). Zwischen je zweien der Gefässreihen tritt je ein Bastbündel auf, welches nach innen aus weiten, mit wenigen Parenchymzellen untermischten Siebröhren, nach aussen aus engen Parenchymzellen und engen Siebröhren

Fig. 330.

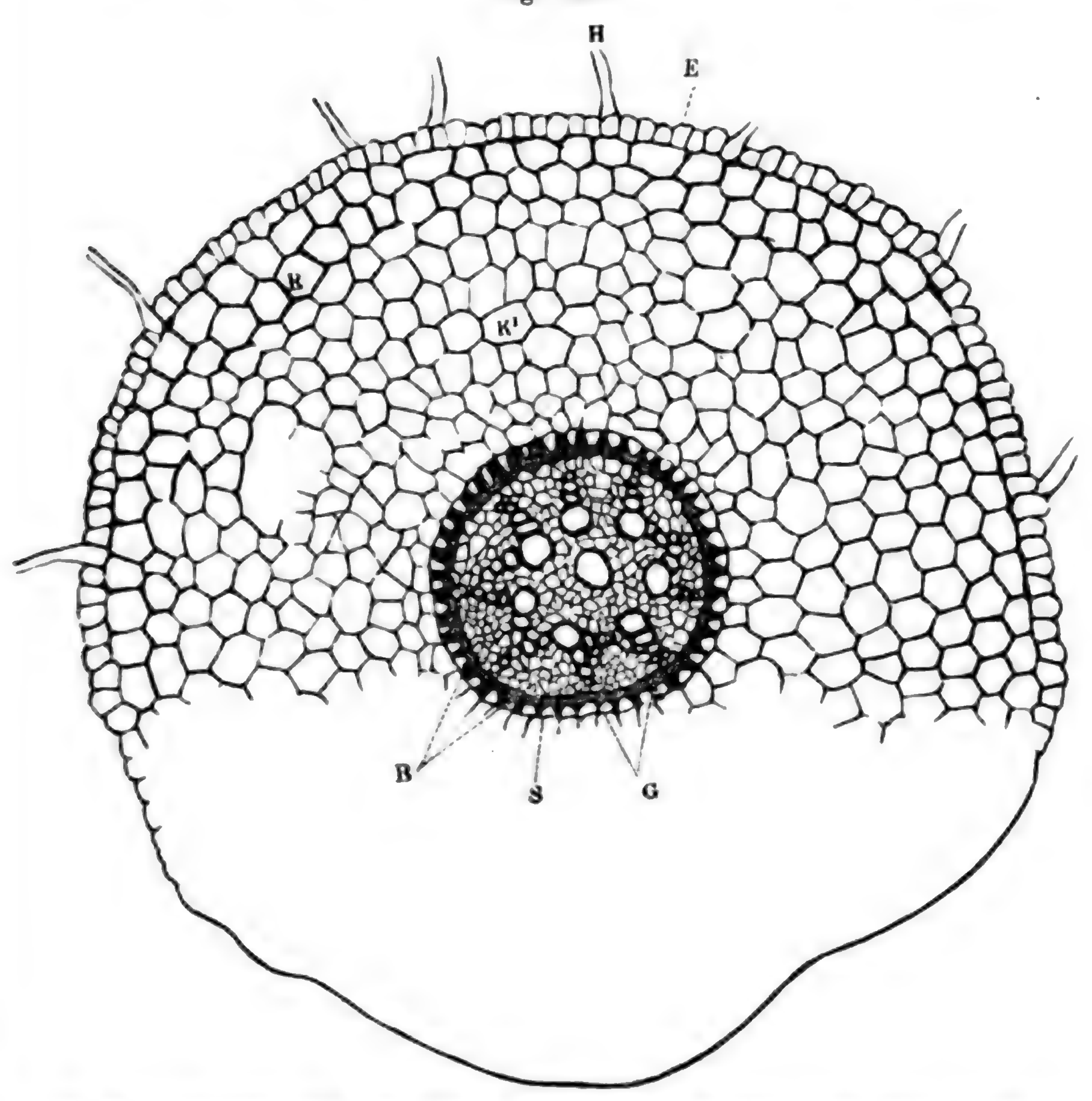


Fig. 330. Querschnitt durch eine dünne Wurzel von Iris florentina. *E* Epiblema, *H* Haare desselben, *R* Aussenrinde, *R'* Innenrinde hier und da mit Luftlücken, *S* Gefässbündelscheide, *G* Gefässe, *B* Bastgruppe. Vergr. 1 : 100.

zusammengesetzt erscheint. Die Entwickelungsfolge der Holzgefässe ist hier, wie aus dem eben Gesagten hervorgeht, gleichfalls eine centripetale.

Bei einer vergleichenden Untersuchung des Wurzelbaues der Monokotyledonen hat man sein Augenmerk zunächst auf die Structur der

Rinde zu richten, und zu erforschen, ob deren Gewebe aus gleichartig oder verschiedenartig gebauten Parenchymzellen besteht, ob darin unvollständige Gefässbündel, Behälter eigenthümlicher Säfte u. s. w. auftreten oder nicht. Dann hat man das Vorhandensein oder Fehlen einer aus abweichend gebauten Zellen bestehenden Gefässbündelscheide

Fig. 331.

Fig. 331. Längsschnitt aus der Wurzel von Pothos spec. *R R* Rindenparenchym, *b* Rindenbündel, *Hf* Holzfasern. Vergr. 1 : 200.

Digitized by Google

zu ermitteln und den Bau der sie zusammensetzenden Zellen zu studiren. Für das Gefässbündel endlich sind die Anordnung der Gefässe und der Bastbündel, sowie die Verdickungsweise und das chemische Verhalten der Zellwände der einzelnen an seiner Zusammensetzung theilnehmenden Elemente zu constatiren. Quer- und Längsschnitte in Verbindung mit der Beobachtung von den einzelnen durch Maceration isolirten Zellenformen werden hier unter Anwendung der bekannten Reactions- und Färbemittel die erforderlichen Aufschlüsse gewähren.

2. Wurzel der Dikotyledonen.

Die Oberhaut, welche hier anfänglich immer vorhanden und aus zartwandigen Zellen gebildet ist, wird schon ziemlich bald durch Korkbildung abgeworfen, welche im Ganzen mit dem gleichen Processe im Stamme übereinstimmt. Die Rinde zeigt gleichfalls in ihrem Baue viele

Fig. 332.

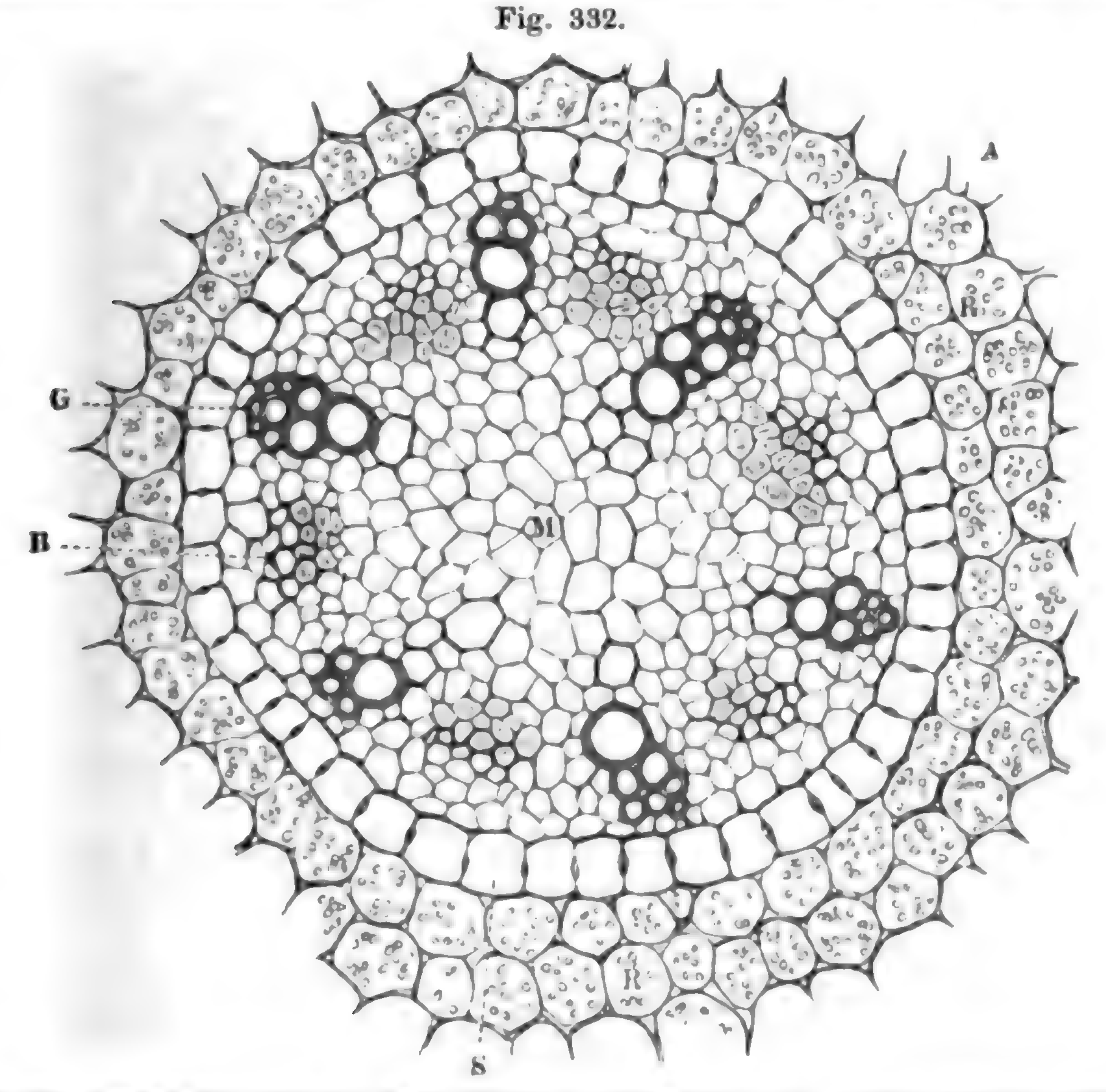


Fig. 332. Querschnitt durch eine junge Wurzel von Ranunculus acer. *G* eben angelegte Gefässgruppen, *B* junge Bastbündel, *S* Gefässbündelscheide, *R* Rindenparenchym, *M* Mark. Vergr. 1 : 200.

Aehnlichkeit mit dem des Stammes. Manchmal lässt sich eine äussere, dem Collenchym dieses letzteren ähnliche, und eine innere, aus dünnwandigen, auf dem Querschnitte rundlichen, grosse Intercellularräume zwischen sich lassenden oder aus polygonalen Zellen bestehende Schicht

Digitized by Google

beobachten, während in anderen Fällen das ganze Gewebe mehr gleichmässig ausgebildet ist. Wo der Stengel fremde Elemente, Bastfasern, Milchsaftgefässe, Oel-, Gummi- oder Harzgänge in der Rinde aufgenommen hat, da treten dieselben in der Regel auch in der Wurzel auf. So bei den Cichoriaceen, den Umbelliferen, den Nadelhölzern, Cykadeen. Auch die Inhaltselemente bleiben im Grossen und Allgemeinen dieselben.

Das Mark ist in jüngeren Zuständen immer vorhanden und erhält sich bei manchen, namentlich den Holzgewächsen, auch im höheren Alter. Dasselbe ist indessen in letzterem Falle immer nur in verhältnissmässig geringer Masse entwickelt und besitzt meist eine von der des Markkörpers der krautartigen abweichende, oft bandartige oder

Fig. 333.

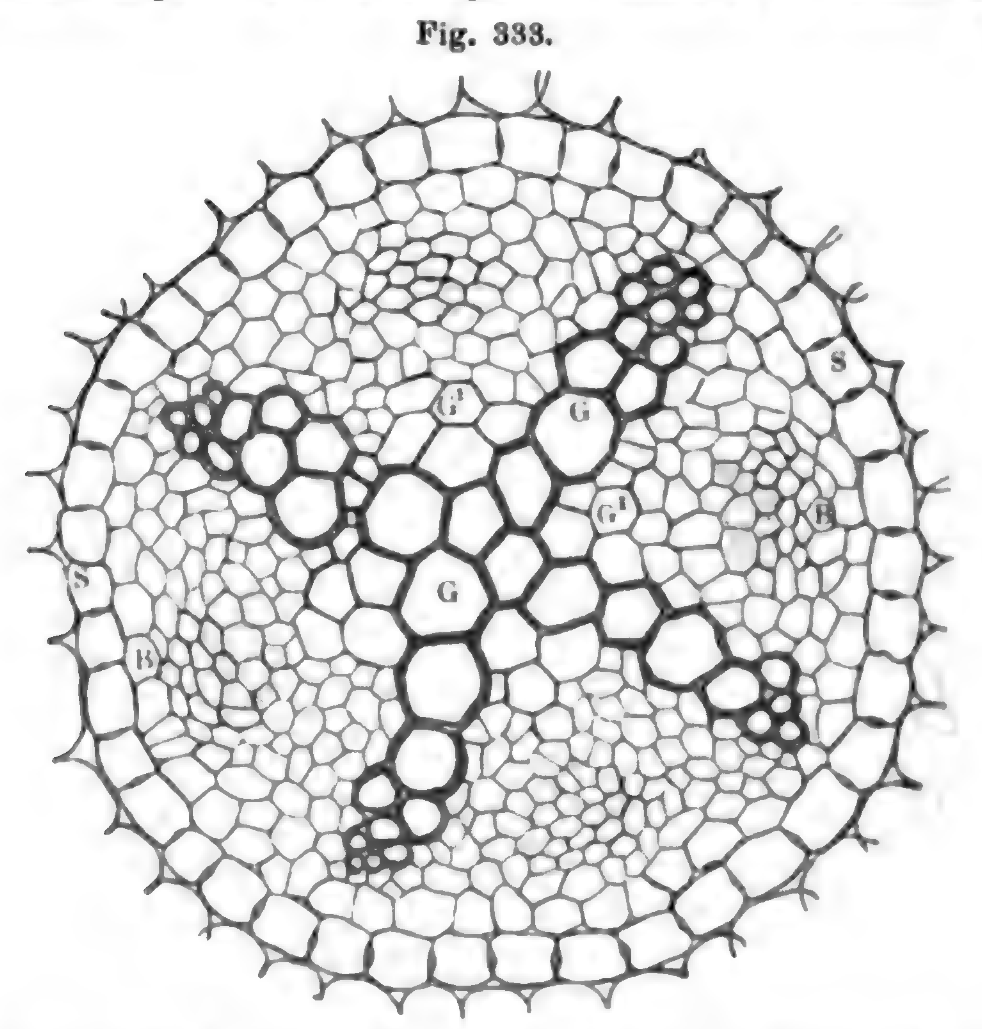


Fig. 333. Querschnitt durch eine ältere Wurzel von Ranunculus acer. *G* innerste, in centripetaler Richtung entstandene Gefässe, G^1 junge, in centrifugaler Richtung sich entwickelnde Gefässe, *BB* Bastbündel, *SS* Gefässbündelscheide. Vergr. 1 : 200.

unregelmässige Gestalt. Bei anderen, namentlich krautartigen Gewächsen verschwindet das Mark ziemlich früh und wird vermöge der eigenartigen Ausbildungsweise der Gefässbündel durch die Elemente des letzteren verdrängt. Die Gefässbündel entstehen nämlich entsprechend der radialen Form derselben, mit getrenntem Cambiumbündel für Holz und Bast (Fig. 332 *GB*); es schreitet die weitere Entwickelung nach dem Centrum fort, so dass dergleichen Wurzeln in den jüngeren Theilen, welche jene zu entwickeln begannen und noch wenige Elemente gebildet haben, ein Bild zeigen, wie in der eben angezogenen Figur.

Digitized by Google

An den älteren Theilen der Wurzel schliessen die Holztheile mit den jüngsten weiteren, porös verdickten Gefässen dicht zusammen (Fig. 333).

Bei denjenigen Dikotyledonen, welche im Stamme getrennte Gefässbündel besitzen, zeigen die Gefässbündel der Wurzel eine ganz ähnliche Anordnung, wie bei den Wurzeln der Monokotyledonen, d. h. es bilden die Gefässe radiale Reihen, zwischen denen das Bastbündel gelagert erscheint (Fig. 333). Bei den krautartigen Gewächsen mit verhältnissmässig dicken Wurzeln, sowie bei den Holzpflanzen ändern sich die Verhältnisse in späterem Alter wesentlich. Sobald die ersten Gefässbündel ihre Holztheile, welche auf dieser Stufe vorzugsweise aus Gefässen bestehen, bis in oder nahe an das Centrum vorgeschoben haben, wobei also das Mark entweder gänzlich verschwindet oder in geringem Umfange erhalten bleibt, treten in dem nächsten Abschnitte näher zu betrachtende Wachsthumsverhältnisse ein, wodurch die anfängliche radiale Form verwischt wird und die Gefässbündel zu einem geschlossenen Ringe zusammentreten, der im Ganzen den gleichen Bau zeigt wie im Stamme.

Fig. 334.

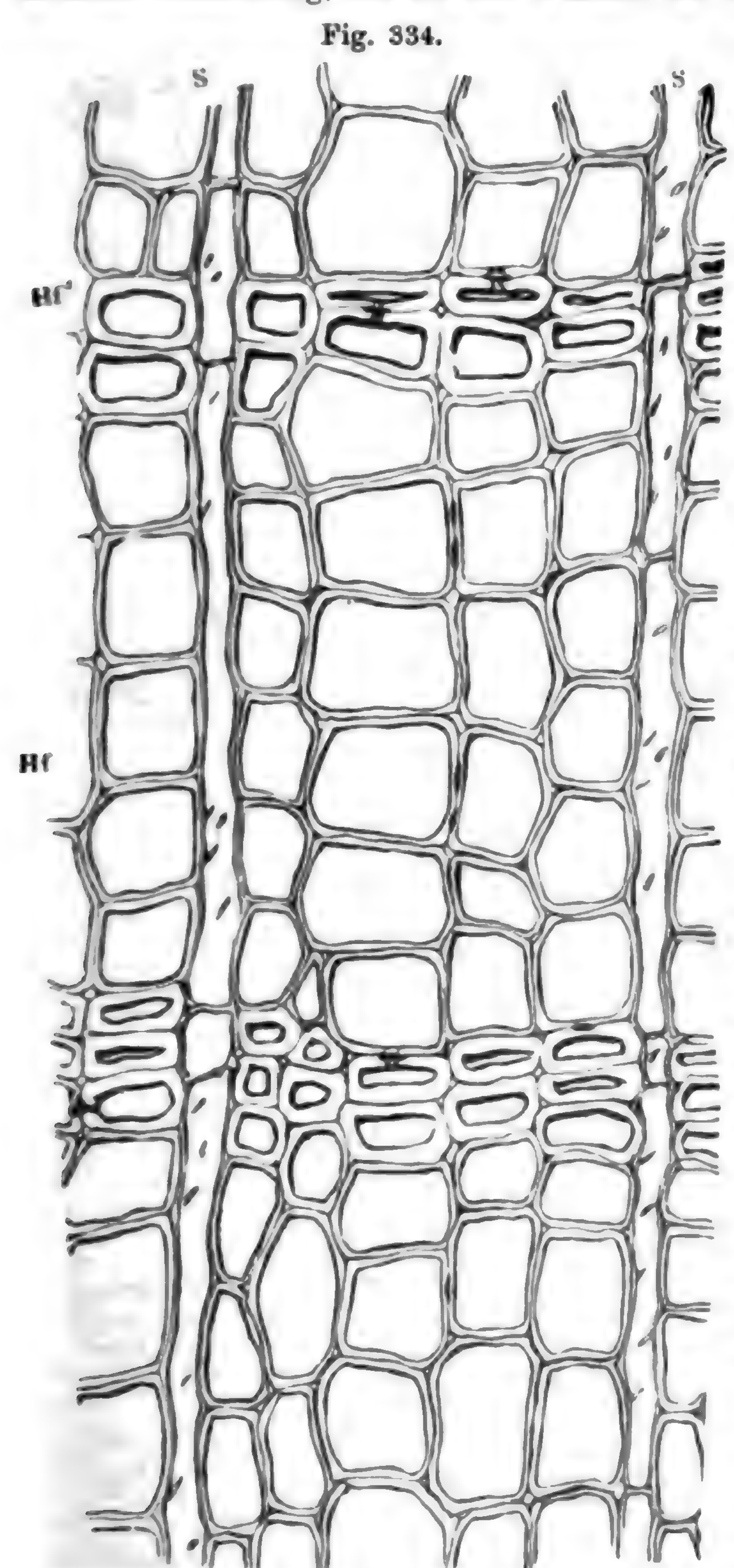


Fig. 334. Querschnitt durch das Wurzelholz von Abies pectinata an einer Stelle mit mittelbreiten Jahresringen. *SS* Bündelstrahlen, *Hf* Frühlingsholz, *Hf*[1] Herbstholz. Vergr. 1 : 180.

Die Unterschiede, welche in letzterem Falle den oberirdischen Achsentheilen gegenüber auftreten, bestehen darin, dass zunächst die Elementarorgane sowohl des

Digitized by Google

Holz- wie des Basttheiles an Weite des Lumens den gleichen Zellenarten im Stengel in der Regel weit — bei den Holzfasern der Nadel- und den Röhrenzellen der Laubhölzer oft um das Drei- bis Fünffache

Fig. 335.

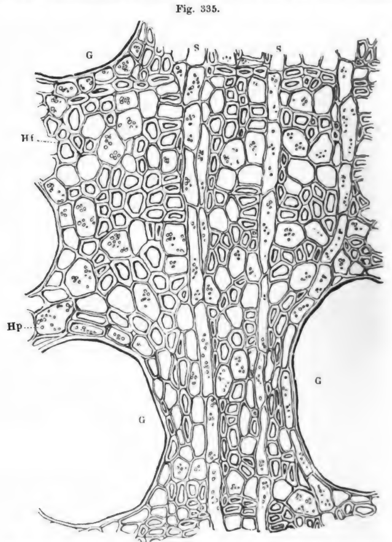


Fig. 335. Querschnitt durch einen Jahresring der Wurzel von Quercus robus. *G G* Gefässe, *Hf* Holzfasern, *Hp* Holzparenchym, *S S* Bündelstrahlen. Vergr. 1 : 280.

des Durchmessers — überlegen sind (Fig. 334 u. 335). Ferner werden die Jahresringe, welche sich ausserdem hier oft einseitig an Breite vermindern, im Durchmesser namentlich der jungen Wurzeltheile weit

Digitized by Google

schmäler als die des Stammes. Daraus aber ergiebt sich eine abweichende Entwickelung in deren einzelnen Theilen, so dass namentlich der mittlere oder auch dieser und der äussere Theil wegfallen, oder der letztere doch nur auf eine, zwei oder drei Zellenreihen beschränkt wird, während der innere Theil, das sogenannte Frühlingsholz, allein oder vorzugsweise ausgebildet erscheint (Fig. 334), womit denn auch natürlich eine Aenderung in den relativen Zahlen- und Stellungsverhältnissen der verschiedenen, an der Zusammensetzung theilnehmenden Elementarorgane des Holzkörpers verbunden ist (Fig. 335)[1]).

Fig. 336.

Fig. 336. Längsschnitt durch die Spitze einer oben hervorbrechenden Wurzel von Aspidistra elatior. *Wh* Wurzelhaube, *O* Oberhaut, *M* Mark, *G'* Region der engen Spiralgefässe, *G''* Region der weiten netzförmigen Gefässe. Vergr. 1 : 75.

Auf die Unterschiede, wie sie sich für einzelne Gattungen und Arten der dikotyledonen Holzgewächse ergeben, kann hier nicht näher eingegangen werden. Bei einer vergleichenden Charakteristik der Holzarten sind alle derartige Einzelheiten im Baue des Holzes von Stamm, Ast und Wurzel, welche in manchen, namentlich auch technischen Beziehungen von Wichtigkeit werden, in Betracht zu ziehen. Neben der Beobachtung von passenden Schnitt- und Macerationspräparaten hat man dann auch vergleichende Messungen der Jahresringe im Ganzen, wie der einzelnen Zellenarten vorzunehmen.

Bei krautartigen Pflanzen mit solchem mittelpunktständigen Strange geschlossene Gefässbündel (Ranunculus, Achillea u. a.) findet sich zwischen der Rinde und diesem Ringe beziehentlich Strange ein Ring von abweichend gebauten, seltener stark verdickten, auf den radialen Wandungen die dunkeln Streifen zeigenden Zellen, die Gefässbündelscheide (Fig. 332 u. 333), ein.

Bei sämmtlichen echten Wurzeln der Kryptogamen und Phanerogamen wird der Vegetationspunkt von einer meist mehrschichtigen, oft mächtig entwickelten, aus zartwandigen parenchymatischen, schon bald verkorkende Wände zeigenden, bald polygonalen, bald rundlichen, im ersteren Falle keine oder nur kleine, im anderen grössere Intercellularräume zwischen sich lassende Zellen gebildeten, von dem Wurzelkörper

[1]) Vergl. auch die Fig. 263, S. 393 und Fig. 287, S. 424.

Digitized by Google

deutlich abgegrenzte Hülle, der sogenannten Wurzelhaube bedeckt (Fig. 336 a. v. S.). Zur Beobachtung dieses Gebildes müssen die Mitte der Wurzel treffende, nach oben und unten frei gelegte Längsschnitte angefertigt und durch Behandlung mit Eau de Javelle durchsichtig gemacht werden.

Drittes Kapitel.

Bau des Blattes.

1. Das Blatt der Moose.

Das Blatt der Lebermoose besteht aus einer einzigen Lage von gleichgebildeten, regelmässig polygonalen, dicht zusammenschliessenden, zartwandigen, öfter auch collenchymatisch verdickten, an der Blattspitze und dem Blattrande manchmal zahnartig vorragenden, nach der Unter- und Oberfläche abgeplatteten, also tafelförmigen Zellen. Zur

Fig. 337.

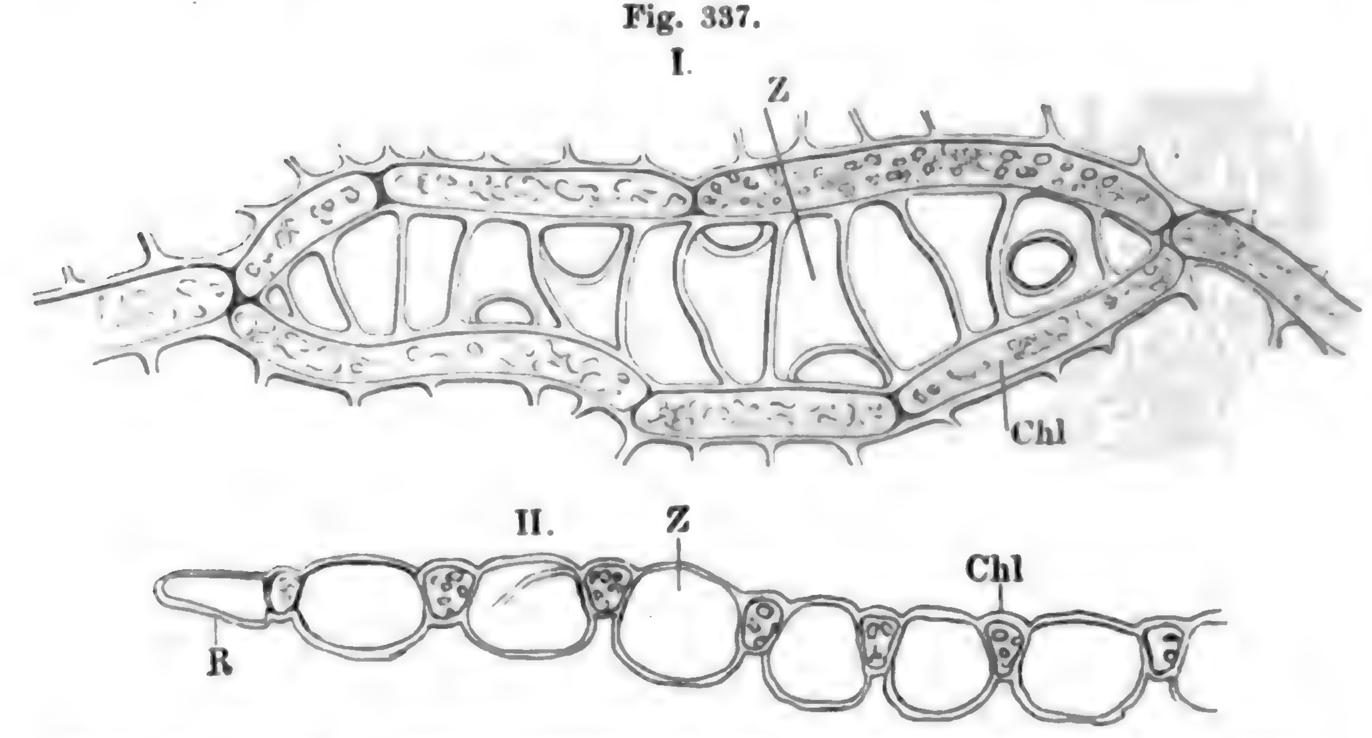


Fig. 337. I. Längs-, II. Querschnittsansicht des Blattes von Sphagnum cymbifolium. *Chl* Chlorophyllzellen, *Z* Zwischenzellen, *R* Randzellen. Vergr. 1 : 500.

histologischen Untersuchung genügt es, das Blatt unverletzt unter das Mikroskop zu bringen. Will man dagegen die Structur der Zellwand u. s. w. studiren, so sind Querschnitte anzufertigen, welche man am leichtesten erhält, wenn man eine Anzahl von Blättchen mittelst einer Gummilösung, der man wenige Tropfen Glycerin zugesetzt hat, zusammenklebt und dann die Schnitte zwischen Hollundermark nimmt.

Das Blatt der Laubmoose besteht bei den Sphagneen gleichfalls im ganzen Umfange der Spreite aus einer einzigen Lage von Parenchym-

Digitized by Google

zellen, die in ihrer Form je nach der Art mannigfach verschieden sind und insofern Beachtung verlangen. Im Allgemeinen (Fig. 337 I) erscheint die Spreite in der Flächenansicht aus einem Netzwerke von gestreckten, meist bogig gekrümmten, dicht an einander schliessenden, chlorophyllführenden Zellen gebildet, dessen Maschen grosse, leere, ring- oder spiralförmig verdickte, zwischen den Verdickungsleisten grosse oder runde ovale Löcher aufweisende Wände besitzende Zellen eingeschaltet erscheinen, während der Blattrand aus einer Reihe an die Chlorophyllzellen anschliessender, schmaler, leerer, etwas zusammengefallener Zellen gebildet wird. Auf dem Querschnitte (Fig. 337 II) zeigen die nach der Unterseite des Blattes stark vorspringenden Zwischenzellen (*Z*) eine tonnenförmige, die viel kleineren Chlorophyllzellen (*Chl*) eine kreisförmige bis trapezoidische, die Randzellen eine zapfenförmige Gestalt. Bei den Laubmoosen mit einem rudimentären Gefässbündel tritt dagegen ein mehr oder minder deutlich ausgebildeter, allmälig in die einschichtige Blattspreite übergehender, nach der Unterseite vorgewölbter Mittelnerv auf. Dieser besteht entweder nur aus gleichartigen, von den übrigen Blattzellen kaum zu unterscheidenden, wenig mehr als diese

Fig. 338.

Fig. 338. Mittlerer Theil des Querschnittes durch ein Blättchen von Polytrichum formosum bis zum Uebergange des Blattnerven in die zweischichtige Blattspreite. *LL* Lamellen, *O* die lamellentragenden Zellen der Oberfläche, *U* einseitig verdickte Zellen der Unterfläche, *P* dünnwandige, *F* faserartige Zellen des Mittelnerven. Vergr. 1 : 500.

Digitized by Google

gestreckten, oder aus gestreckten faserartigen Zellen, oder es wird von diesen letzteren ein Innenstrang von dünnwandigen, ebenfalls gestreckten Parenchymzellen umschlossen. Die Gliederung der einzelnen Elemente ist im letzteren Falle am schärfsten wohl bei den Polytricheen (Fig. 338 a. v. S.) ausgeprägt. Auf der Oberseite zeigt sich eine Lage von unverdickten, chlorophyllführenden, mehrzellige, von gleichem Inhalte erfüllte Lamellen (*LL*) tragenden Parenchymzellen. Ihnen folgt ein gestrecktes Bündel bis fast zum Verschwinden des Lumens verdickter Faserzellen, denen sich eine bis zwei Lagen chlorophyllführenden, an die oberen Chlorophyllzellen sich in Bogenform anschliessenden Parenchyms und diesen eine Anzahl enger, dünnwandiger, theils wässerigen, theils protoplasmatischen Inhalt führenden Zellen, anschliessen. Zwischen diesen und den einseitig verdickten Zellen der Unterseite schiebt sich ein zwei- bis mehrschichtiger, allmälig nach den beiden Vereinigungspunkten der obersten und untersten Zellenreihe verlaufender Bogen von Faserzellen ein. Bei der Gattung Mnium sind ausserdem noch zwei aus stark verdickten, faserartigen Zellen gebildete Randnerven vorhanden.

Um die Structur der Blattspreite zu studiren, genügt dasselbe Verfahren, wie bei den Lebermoosen. Dagegen verlangt die Kenntnissnahme von dem Baue des Mittelnerven Quer- und Längsschnitte. Erstere erhält man oft ganz schön bei der Entnahme von Stengelquerschnitten. Gelingt dieses Verfahren nicht, so ist das oben angegebene einzuschlagen. Längsschnitte, die man parallel der Fläche und senkrecht zu derselben nehmen muss, werden am besten aus freier Hand gelingen.

2. Das Blatt der Gefässkryptogamen.

A. Schachtelhalme.

Die Mitte des Blattes der Schachtelhalme besteht aus nur wenigen Lagen eines zartwandigen, in späterem Alter braun gefärbten Parenchyms. Diese Innenschicht wird nach aussen auf der Unterseite von einer Oberhaut bedeckt, welche in den nicht über dem Gefässbündel oder an den Verwachsungsstellen der Einzelblättchen liegenden Partien in Reihen geordnete Spaltöffnungen enthält, deren Schliesszellen ziemlich verdickt sind. Die Oberhautzellen sind hier nach der Aussenseite etwas stärker verdickt, als an den übrigen Seiten, und enthalten reiche Mengen von Kieselerde. Der Bau der Zellen ist in der Flächenansicht verschieden. Ueber den Gefässbündeln sind dieselben langgestreckt und enger, über den dünnsten, zur Seite liegenden Stellen werden sie weiter und kürzer und lassen die Spaltöffnungslücken zwischen sich, dann verbreitern sie sich noch etwas mehr und gehen in die eigenthümlich bogenförmigen Zellen der Verwachsungsstellen über. Die

Digitized by Google

Oberseite besitzt eine abweichend gebaute Epidermis. Dieselbe besteht nämlich aus zartwandigen kleineren Zellen, welche mehr oder minder flach gedrückt erscheinen. Das Gefässbündel nimmt etwa die Mitte des Einzelblattes ein und besteht aus wenigen zarten Ringgefässzellen, innerhalb deren eine Gruppe zartwandiger, allem Anscheine nach dem Basttheile angehöriger Zellen auftritt. Unter dem Gefässbündel erscheinen bei manchen Arten (Equ. hiemale, arvense) Grüppchen von stark verdickten faserähnlichen Zellen, welche bis dicht unter die Epidermiszellen reichen. Die Blätter führen im jugendlichen Zustande immer Chlorophyll, und zwar sind die betreffenden Parenchymzellen in Längsreihen neben den über den Gefässbündeln stehenden Fasersträngen vertheilt und durch Stränge inhaltleerer Zellen, die den Aussenseiten der verwachsenen Blättchen und den Verwachsungsstellen angehören, von einander getrennt.

B. Bärlappgewächse.

Das Blatt der Bärlappgewächse hat beiderseits eine aus mässig einseitig verdickten, in der Längsachse des Blattes gestreckten, seicht buchtigen Zellen bestehende Oberhaut, deren Spaltöffnungen ohne bestimmte Ordnung zerstreut stehen. Das mittlere Gewebe (Fig. 339 *Chl*)

Fig. 339.

Fig. 339. Querschnitt durch ein Blättchen von Lycopodium chamaecyparissus. *E* Oberhaut, *Chl* Chlorophyllgewebe, *G* Gefässbündel. Vergr. 1 : 150.

wird je nach der Dicke des Blattes von einigen bis zahlreichen Lagen nach den Blatträndern sich auskeilenden zartwandigen, auf dem Querschnitte rundlichen, auf dem Längsschnitte etwas gestreckten, chlorophyllführenden Parenchyms gebildet und dieses von einem mittleren, aus einigen wenigen Spiral- und Treppengefässen und engen, mässig verdickten gestreckten Zellen bestehenden, von der Bündelscheide umgebenen Gefässbündel durchzogen (Fig. 339 *G*).

Digitized by Google

C. Farnkräuter.

Die Oberhaut des Farnblattes besteht auf der Ober- wie Unterseite aus in der Flächenansicht geradseitig vieleckigen oder buchtig tafelförmigen Zellen, die beinahe gleichmässig nach allen Seiten verdickt sind, höchstens eine nur wenig stärkere Entwickelung der secundären Verdickungsschicht nach der Aussenseite beobachten lassen und gleich den tiefer liegenden Zellen Chlorophyll führen (Fig. 340 *O*). Die Unterseite führt stets mit der Epidermis in gleicher Ebene liegende (Fig. 215 II, S. 328), ohne bestimmte Ordnung zerstreute Spaltöffnungen.

Fig. 340.

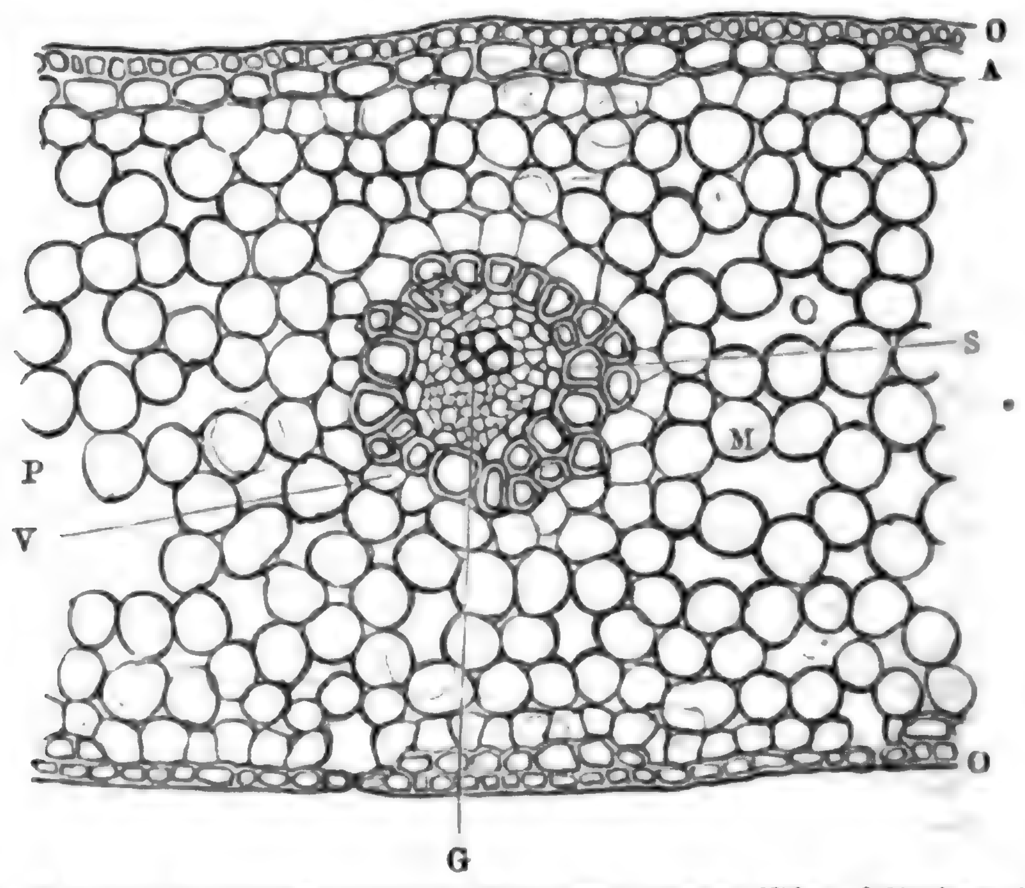


Fig. 340. Theil eines Querschnittes durch den Wedel von Asplenium Nidus. *O* Oberhaut, *A* Aussenrinde, Blattparenchym, *G* Gefässbündel, *S* Gefässbündelscheide, *V* Versteifungsring. Vergr. 1 : 120.

Dicht unter der Oberhaut erscheint als Aussenrinde (Fig. 340 *A*) häufig jederseits eine nur über den Spaltöffnungen unterbrochene Lage mässig verdickter, in der Flächenansicht länglich polygonaler Zellen, welche neben protoplasmatischen Stoffen oder wässerigen Flüssigkeiten auch geringe Mengen Chlorophylls führen. Das Parenchym (Mesophyll. Diachym, Fig. 340 *M*) ist gleichartig gebaut („homogen centrisch") und wird aus rundlichen oder strahligen Zellen gebildet, so dass es eine Menge von kleineren und grösseren Intercellularräumen enthält. Dasselbe ist reichlich mit Chlorophyll angefüllt, in dem sich Stärkekörnchen entwickeln. Die concentrischen Gefässbündel stehen von der Ober- und Unterseite an gerechnet gewöhnlich ziemlich genau in der Mitte. Man kann in denselben deutlich einen Holz- und Bast-

Digitized by Google

theil unterscheiden, von denen der erstere mehr nach der Oberseite, der andere in seiner grösseren Masse mehr nach der Unterseite gerückt ist (Fig. 340 *G*). Der Holztheil besteht aus einigen Spiral- und Treppengefässen, der Basttheil aus ziemlich engwandigen, gestreckten, protoplasmatischen Inhalt führenden Zellen, unter denen sich hier und da einige weitere als Bastgefässe erkennen lassen. Das Gefässbündel wird von der aus zartwandigen Zellen gebildeten Bündelscheide umgeben, der dann ein geschlossener Ring von verdickten faserartigen Zellen folgt (Fig. 340 *S* u. *V*).

3. Das Blatt der Gymnospermen.

A. Cycadeen.

Die Cycadeen besitzen eine Oberhaut mit einseitig (Cycas, Fig. 341) oder allseitig (Ceratozamia, Fig. 342) verdickten Zellen, bei denen namentlich die Cuticularschichten mächtig entwickelt und von Poren durchbrochen sind. Die Unterseite der Fiederblättchen besitzt immer

Fig. 341.

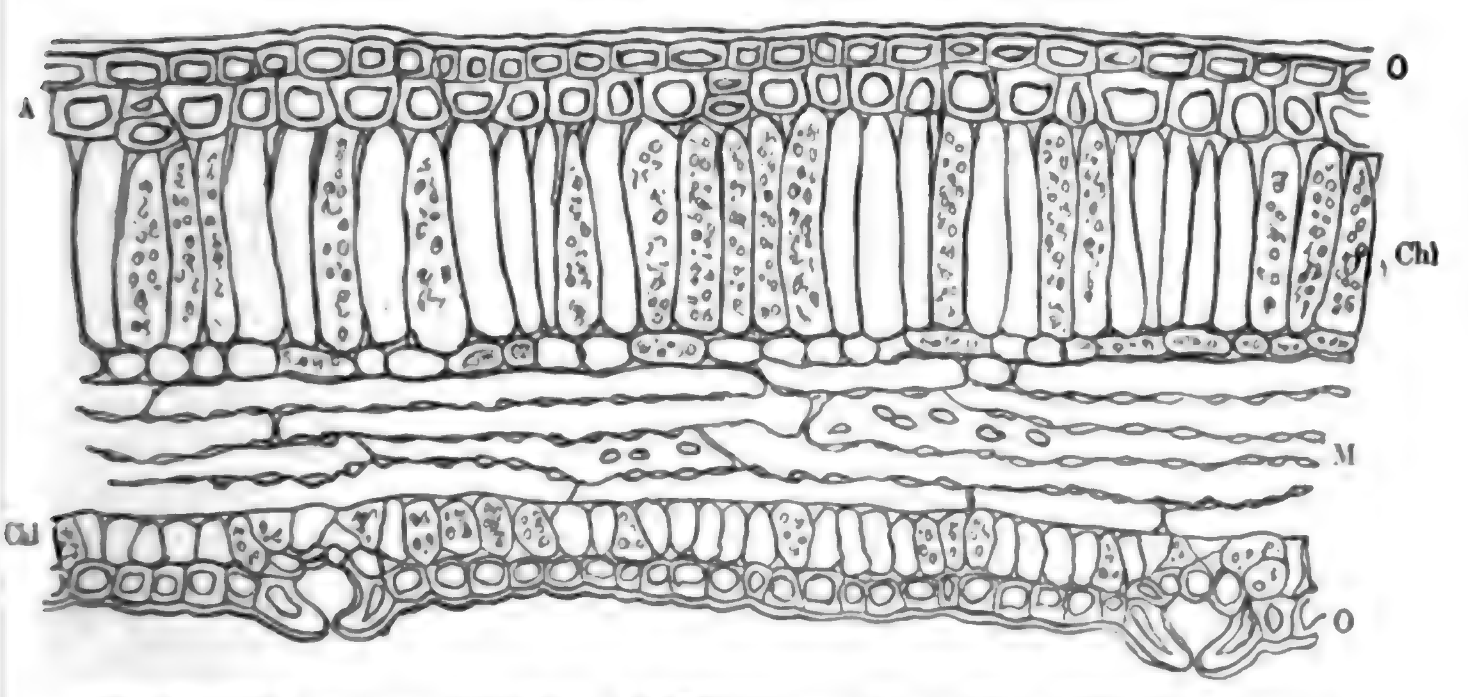


Fig. 341. Theil eines Querschnittes durch ein Blättchen von Cycas revoluta. *O* Oberhaut, *A* Aussenrinde, *Chl* palissadenförmiges Chlorophyllgewebe (Innenrinde), *M* Markgewebe. Vergr. 1 : 120.

entweder ohne Ordnung gestellte (Cycas) oder in Reihen geordnete (Encephalartos etc.) Spaltöffnungen, welche die S. 328, Fig. 215 III. beschriebene und abgebildete eigenthümliche Lage tief unter der Oberhaut beobachten lassen (Fig. 341 bis 343). Die Form der Oberhautzellen wechselt hier sowohl bei den verschiedenen Gattungen, als sie auch in der Oberhaut ein und derselben Gattung an verschiedenen Stellen ungleich wird. So besitzen die Cycas- und Encephalartosarten fast isodiametrische, bei den ersteren senkrecht auf die Blattachse verlängerte, bei den anderen unregelmässig verschobene, auf der Unter-

Digitized by Google

seite eine Verlängerung in der Blattachse zeigende drei-, vier- bis mehrseitige Zellen, während Zamia und Ceratozamia nach der Blattachse in die Länge gestreckte parenchymatöse oder faserähnliche Formen zeigen, welche mit kurzen, sich schon auf dem Querschnitte deutlich kenntlich machenden, meist länglich vierseitigen, braune Masse führenden Zellen abwechseln, die, nach ihrer Anordnung zu schliessen, aus einer faserförmigen Zelle — ähnlich wie das Holzparenchym — entstanden sind. Bei Dion sind die Hauptmasse der oberen und die zwischen den Spaltöffnungsstreifen verlaufenden Längsstreifen der unteren Epidermis aus der letzteren Zellenart zusammengesetzt und nur hier und da finden sich faserförmige eingesprengt. Welche Formen indessen auch den Oberhautzellen eigen seien, so ändert sich dieselbe theils schon im Verlaufe der Spaltöffnungsreihen (Dion), sicher aber in der Nähe der Spaltöffnungen immer in bestimmter mehr oder minder scharfer Weise, welche durch die Gruppirung der die letzteren umgebenden Zellen bedingt wird. Bei einer vergleichenden Untersuchung sind alle diese Formverschiedenheiten aufmerksam zu verfolgen und in ihren Beziehungen zu den einzelnen Gattungen sowohl als zu den verschiedenen Stellen der Oberhaut genau zu kennzeichnen. Quer- und Längsschnitt werden hier für die Verdickungsweise, Oberflächenschnitte für die gegenseitigen Verhältnisse der wechselnden Formen, diese und Macerationsproducte endlich für diese letzteren selbst die nöthigen Anhaltspunkte geben müssen.

Unterhalb der Oberhaut erscheinen bei allen von mir bis jetzt untersuchten Gattungen (Cycas, Dion, Encephalartos, Ceratozamia, Zamia) zwei bis mehrere Reihen von chlorophylllosen, feinkörnigen Inhalt führenden Zellen, welche bei Ceratozamia nur am Rande oder vereinzelt in kleinen Gruppen (Fig. 342) auftreten, bei den übrigen Gattungen an der Oberseite in der Regel ununterbrochene Lagen bilden, an der Unterseite aber unterhalb der Spaltöffnungen meist fehlen und daher in Längsreihen geordnet erscheinen (Fig. 343). Diese Zellen sind mehr oder minder, oft (Dion) fast bis zum Verschwinden des Lumens verdickt und sind an der Oberseite immer faserartig und meist gefächert. An der Unterseite haben sie bei Encephalartos in den Spaltöffnungszügen fast allseitig gleiche Ausmessungen und sind verhältnissmässig weit und weniger verdickt. Wir haben in dieser Gewebsschicht offenbar die von anderen Autoren als Hypoderm aufgefasste und bezeichnete Aussenrinde des Blattes vor uns, welche dem Collenchym der Stengelrinde entsprechen dürfte. Auf die Aussenrinde, oder, wo diese fehlt, unmittelbar auf das Oberhautgewebe folgt ein Gewebe, welches in der Regel aus cylindrischen oder polygonalen, mehr (Encephalartos, Cycas) oder minder (Ceratozamia) senkrecht zu den Oberflächen des Blattes verlängerten, nach der Blattmitte etwas verjüngten, hier und da in den Kanten (Cycas revoluta) leistenartig verdickten Zellen gebildet wird und die Innenrinde repräsentirt. Dieselbe findet sich an beiden Blatt-

Digitized by Google

seiten, ist aber an der oberen am deutlichsten ausgeprägt, an der unteren, wegen des mehr oder minder verkürzten Höhendurchmessers weniger hervortretend.

Der mittlere Theil des Blattes wird zum Theil aus buchtig-strahligen, zum Theil aus vieleckigen, oder auch aus gleichartigen Parenchymzellen zusammengesetzt und bildet ein schwammförmiges Gewebe, das in der Mittellage nicht selten in einige Lagen nach der Breite des Blattes quergestreckten Parenchyms übergeht (Fig. 341 und 342), welches sich zwischen den Gefässbündeln und den Gummigängen ausspannt, bei Cycas in ein das Gefässbündel umgebendes, dem Markparenchym des Fiederstieles ähnliches vielporiges Gewebe übergeht.

Fig. 342.

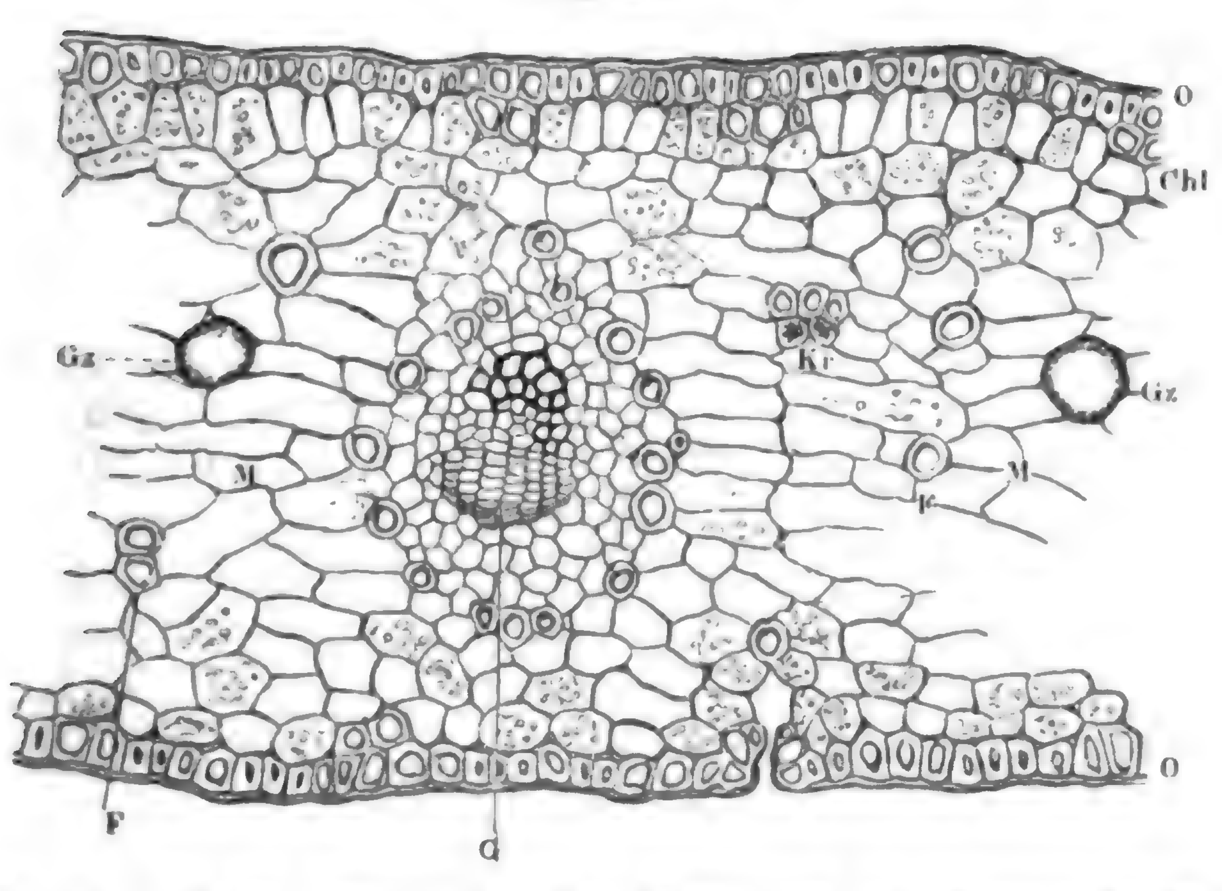


Fig. 342. Theil eines Querschnittes durch das Fiederblättchen von Ceratozamia mexicana. *O* Oberhaut, *Chl* chlorophyllhaltiges Palissadengewebe, *M* Markgewebe, *G* Gefässbündel, *Gz* Gummizellen, *F* Faserzellen. Vergr. 1 : 120.

Bei Dion und Ceratozamia treten inmitten des Schwammparenchyms vereinzelte stark verdickte Bastfasern auf (Fig. 342 und 343 *F*), und bei Cycas finden sich Gruppen ähnlicher Zellen innerhalb des aus polygonalen Zellen bestehenden Marktheiles ein.

Das Gefässbündel ist vollständig entwickelt, d. h. es lässt einen deutlich ausgebildeten Holz- und Basttheil erkennen. Der letztere liegt der Unterseite des Blattes zugewendet und besteht nach innen aus den dünnwandigen Elementen, unter denen sich Bastparenchym- und Siebröhrenzellen, wenn auch mit einiger Mühe, erkennen lassen; nach aussen finden sich eine (Ceratozamia) oder mehrere in Halbmond gestellte Reihen von eigenthümlich verdickten, engen, faserähnlichen Zellen

Digitized by Google

ein, welche als Bastfasern aufzufassen sind, namentlich da sie ihr Analogon auch in dem Gefässbündel der Dikotyledonen finden (Caesalpineen, Ribes u. s. w.).

Der Holztheil wird von dem Basttheile durch einige enge, zartwandige und langgestreckte Parenchymzellen (Cambiform) getrennt und besteht nach innen aus engeren, spiralig verdickten Gefässzellen, nach aussen aus weiteren, nur mässig verdickten Holzzellen mit in die Breite gezogenen oder mehr rundlichen, deutlich behöften Poren. Bei Encephalartos und Cycas revoluta finden sich vor dem Parenchym, welches Holz- und Basttheil scheidet, gleichsam am Anfange des letzteren einige. meist in zwei kleine Gruppen gestellte, sich durch ihre stärkere Ver-

Fig. 343.

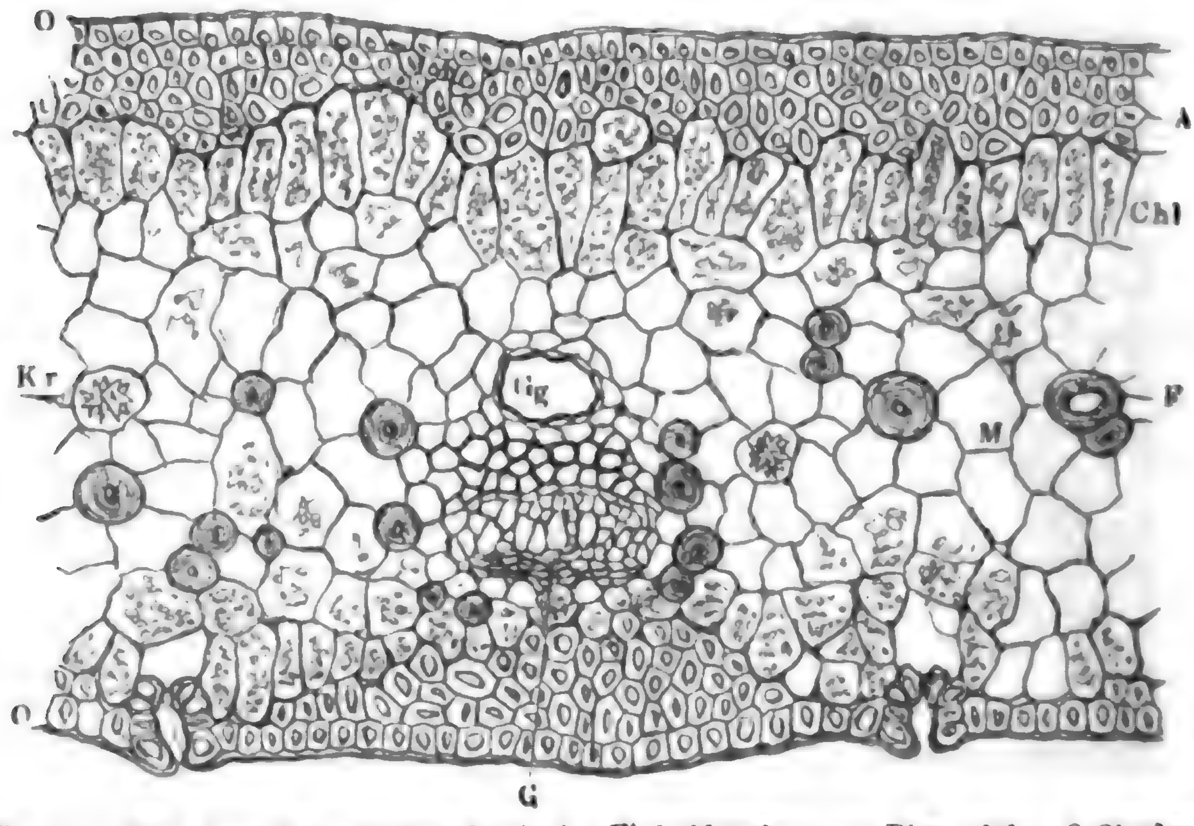


Fig. 343. Theil eines Querschnittes durch das Fiederblättchen von Dion edule. *O* Oberhaut, *A* Aussenrinde, *Chl* Chlorophyllgewebe (Innenrinde), *M* Markgewebe, *G* Gefässbündel, *Gg* Gummigang, *Kr* krystallführende Zellen, *F* faserförmige, im Mark zerstreute und das Gefässbündel umgebende Zellen. Vergr. 1 : 120.

dickung kenntlich machende Zellen, die sich auf dem Längsschnitte als poröse Holzzellen darstellen, und bliebe hier zu untersuchen, ob dieses Vorkommen vereinzelt, oder ob es bei einzelnen Arten oder Gattungen constant ist.

Bei allen von mir untersuchten Gattungen wird das Gefässbündel von einem ein- bis mehrreihigen Hohlcylinder von abweichend gebauten Parenchymzellen, der Bündelscheide, umgeben. Bei Cycas sind dieselben einseitig, nach innen verdickt und führen einzelne Krystalle. Bei den anderen sind sie mehr gleichmässig ausgebildet, mässiger verdickt (Ceratozamia, Encephalartos, Fig. 342 und 343) bis dünnwandig (Dion) und es treten in deren Kreis einzelne, bei Ceratozamia gefächerte Bastfasern ein (Fig. 342 und 343), Gummigänge habe ich in dem Blatte

Digitized by Google

nur bei Encephalartos und Dion gefunden. Bei ersterer Gattung stehen sie zwischen je zwei Gefässbündeln, bei Dion dicht über denselben (Fig. 343 *Gg*). Dieselben sind verhältnissmässig weit und werden zunächst von einer Lage enger, zartwandiger, langgestreckter und dann von einer zweiten Lage weiterer isodiametrischer Parenchymzellen umgeben. Bei Ceratozamia treten im Innengewebe einzelne Gummizellen (Fig. 342 *G*) auf.

Der Wedelstiel besitzt bezüglich der Gefässbündel, welche zerstreut in dem Grundgewebe stehen, was sich bei Cycas wie bei den anderen Arten für die Blättchen in der Nähe der ersteren wiederholt, den gleichen Bau, wie wir ihn eben geschildert haben. Ein Unterschied zeigt sich in Bezug auf die Rindenbildung, welche indessen so manche Anklänge an die Rinde der Fiederblätter zeigt, dass sich die Beziehung beider zu einander dem Beobachter überall aufdrängt.

Unterhalb der Oberhaut, welche im Ganzen den gleichen Bau zeigt, wie jene der Fiedern, findet sich mit Ausnahme von Cycas, wo es nur an den Seiten, wo die Blättchen abgehen, auftritt, bei Encephalartos, Dion und Ceratozamia, das aus faserähnlichen Zellen gebildete ein- bis mehrreihige Gewebe wieder vor. Das Chlorophyllgewebe, d. h. die Innenrinde, beginnt bei Cycas unmittelbar nächst der Oberhaut und besteht aus zwei bis drei Reihen ziemlich verdickter Zellen, die auch einzeln oder gruppenweise in dem gleich zu beschreibenden Gewebe auftreten, ohne mit jenen Reihen in Verbindung zu stehen. Bei den übrigen genannten Gattungen treffen wir dasselbe unter der Aussenrinde. Seine Zellen sind in der Regel weniger verdickt und porenreich, wie bei der vorhergehenden Art, und es setzt sich durch meist einreihige, netzförmig mit einander anastomosirende Strahlen nach innen fort, wo es allmälig in das Grundgewebe übergeht.

Innerhalb der Innenrinde erscheint bei Cycas und Ceratozamia ein mächtiger, bei Encephalartos und Dion ein minder breiter Ring von bastfaserähnlichen, mässig langen, stark verdickten Zellen, welche gemäss des eben geschilderten Verhaltens des Chlorophyllgewebes gruppenweise angeordnet erscheinen. Bei Cycas werden dieselben nach innen allmälig enger und länger; bei Ceratozamia, Encephalartos und Dion bleiben sie mehr gleich und es treten dazwischen (einzeln oder in kleinen Gruppen) weitere und bedeutend längere, bei Ceratozamia gefächerte, bald minder (Encephalartos), bald mehr (Ceratozamia und Dion) verdickte, eine homogene braune Masse führende Faserzellen auf, welche sich auch zerstreut in dem Markgewebe und in der Umgebung der Gefässbündel finden.

B. Nadelhölzer.

Die Oberhaut der Nadelholzblätter besteht aus einer einzigen Lage von in der Richtung der Blattachse mehr oder minder in die Länge

gestreckten, nur in den die Spaltöffnungen enthaltenden Streifen ganz oder nahezu isodiametrischen, meist tafelartigen, hier und da aber auf dem Querschnitte quadratischen (Pinus sylvestris) oder gar palissadenförmigen (Pinus montana, Pumilio) Zellen. Die Wandungen sind entweder allseitig (Pinus, Fig. 344) oder, was bei den meisten Gattungen der Fall ist, einseitig an den Aussenseiten verdickt (Fig. 344) und die

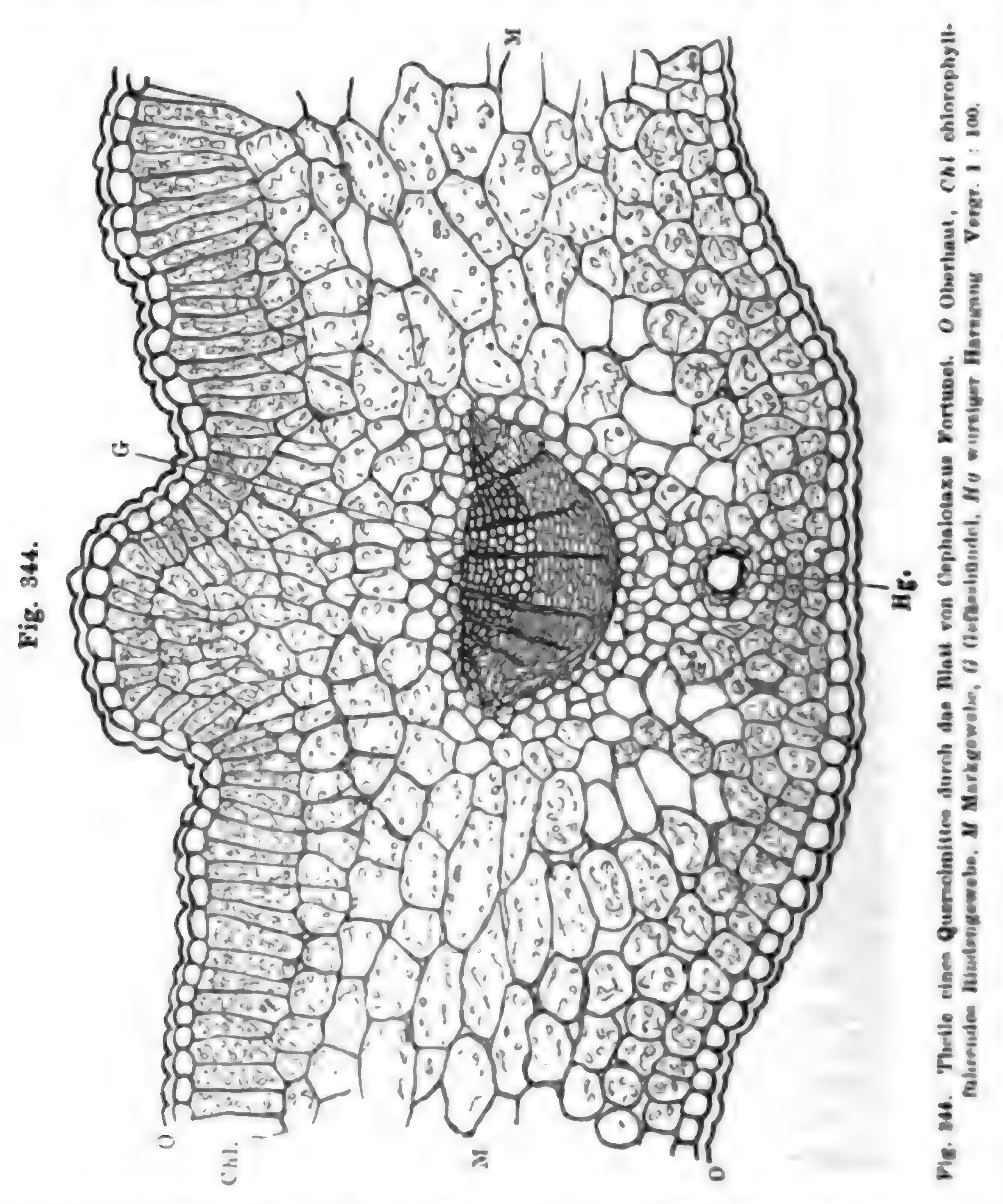


Fig. 344. Theile eines Querschnittes durch das Blatt von Cephalotaxus Fortunei. O Oberhaut, Chl chlorophyllführendes Rindengewebe, M Markgewebe, G Gefässbündel, Hg weiter Harzgang. Vergr. 1 : 100.

Verdickungsschichten theils von nach der Oberfläche verlaufenden, theils von seitlichen Porencanälen durchsetzt. Die in dem entsprechende Beachtung fordernden Baue ihrer Schliesszellen bei verschiedenen Gattungen verschiedenen Spaltöffnungen stehen bald unregelmässig zerstreut (Cupressineen u. a.), bald in Längsstreifen (Abietineen, Taxus, Cephalotaxus, Podocarpus) und finden sich bei flachen Blättern, bald

Digitized by Google

auf beiden Blattseiten (Araucaria imbricata und brasiliensis), bald nur auf der Unter- (Taxus, Salisburia, Abies) oder Oberseite allein (Juniperus) oder doch vorzugsweise (Cupressus), während sie bei den rundlichen und vierkantigen Blattgestalten in der Regel allseitig auftreten.

Unterhalb der Oberhaut trifft man mit Ausnahme von Taxus und Cephalotaxus (Fig. 344) (und Torreya nach Thomas) eine aus einer (Pinus sylvestris, montana u. a.), nur an den Blatträndern verdoppelten

Fig. 345.

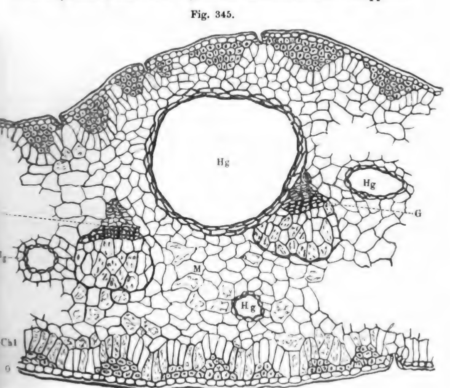


Fig. 345. Querschnitt durch die Mitte des Blattes von Araucaria brasiliensis. *O* Oberhaut, *Chl* palissadenförmige chlorophyllhaltige Innenrinde, *M* Markgewebe, *Z* Gruppen grosser poröser, die Gefässbündel begleitender Zellen, *G* Gefässbündel, *Hg* Harzgänge. Vergr. 1 : 75.

oder aus mehreren (Pinus Laricio) Zellreihen gebildete, in der Regel nur unter den Spaltöffnungen fehlende, hier und da aber auch sonstig unterbrochene Aussenrinde beziehentlich Unterhaut (Hypodermis) (Fig. 345), welche jener der Cycadeen ähnelt, sich aber insofern von derselben unterscheidet, als die Zellen nicht so bedeutend in die Länge gestreckt erscheinen. Die Verdickung der Zellwände ist allseitig, bei Pinus sylvestris und montana geringer als die der Oberhautzellen, bei anderen, namentlich exotischen Arten und den übrigen Gattungen bedeutender (Fig. 345 bis 347).

Digitized by Google

Das Chlorophyllgewebe (Innenrinde) zeigt bei verschiedenen Gattungen mannigfache Abweichungen in seinem Baue, welche bei deren Charakterisirung wohl ins Auge zu fassen sind. Bei allen jenen Nadelblättern, welche nur auf der Unterseite Spaltöffnungen enthalten, liegt auf der Oberseite ein deutlich entwickeltes, hier und da (Podocarpus, Fig. 347) mehrreihiges Palissadenparenchym, dem ein lockeres Gewebe folgt, während die Unterseite häufig zum mindesten kein entschieden ausgesprochenes Palissadenparenchym, auch nicht in den spaltöffnungsleeren Streifen beobachten lässt und in der Regel von lockerem, un-

Fig. 346.

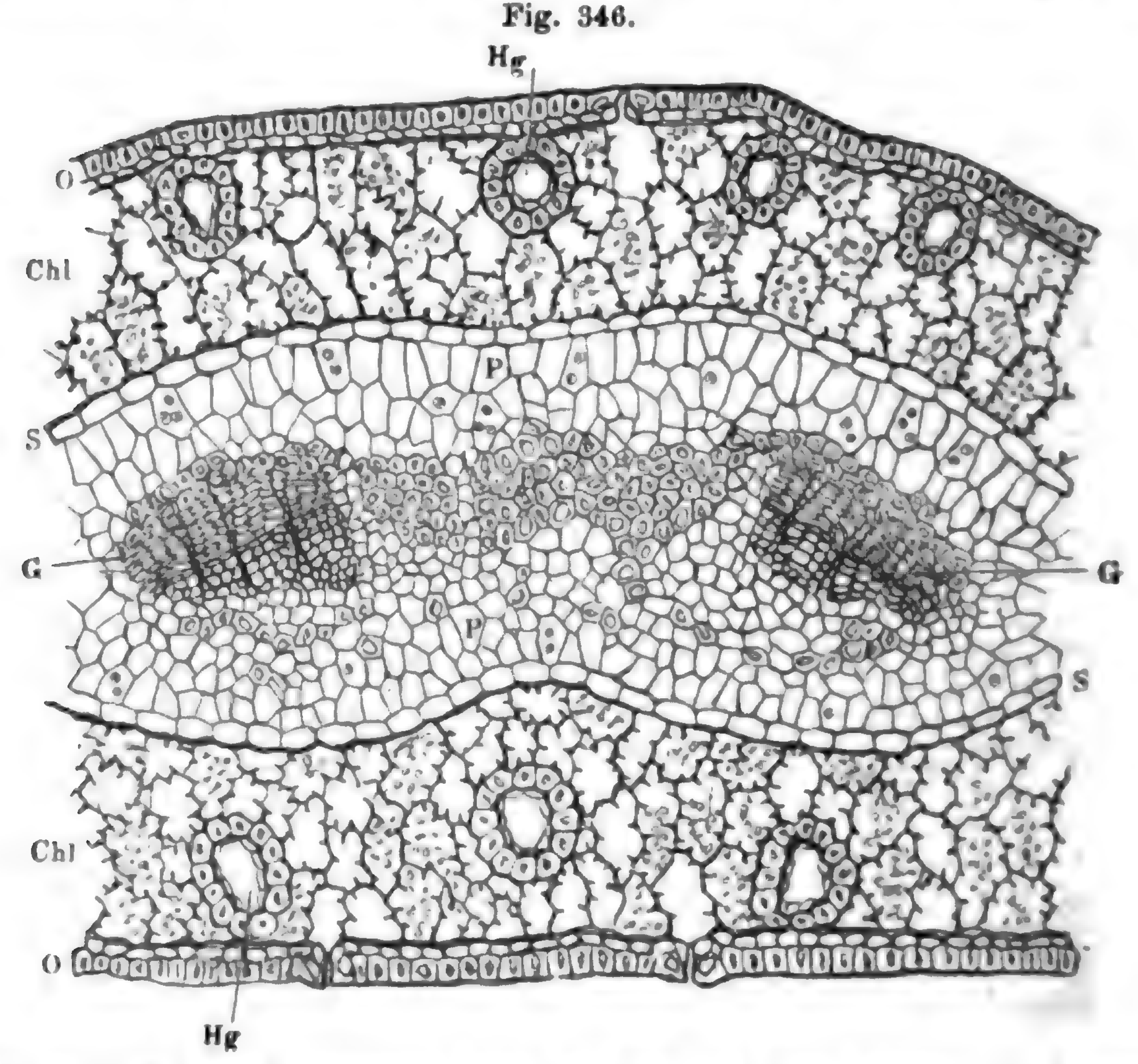


Fig. 346. Theil eines Querschnittes durch das Blatt von Pinus sylvestris. *O* Oberhaut, *Chl* chlorophyllführendes Parenchym, *S* Gefässbündelscheide, *P* behöft poröses Parenchym, *G G* Gefässbündel, *F* Gruppen von bastfaserähnlichen Zellen, *Hg* Harzgänge. Vergr. 1 : 75.

regelmässigem Parenchym eingenommen wird. Die beiderseits mit Spaltöffnungen versehenen Blätter der Araucaria imbricata und brasiliensis (Fig. 345) besitzen an beiden Seiten je eine Schicht durch die Spaltöffnungsstreifen unterbrochenen Palissadenparenchyms mit darunterliegendem lockeren Chlorophyllgewebe, die rundlichen und vierkantigen Nadeln endlich lassen theilweise eine allseitig ähnliche Structur beobachten, bei der die Palissadenform indessen häufig weniger scharf ausgeprägt ist, theils besitzen sie eine aus dicht an einander schliessenden Zellen bestehende Innenrinde (Pinus, Picea, Larix, Fig. 346), deren äussere Schicht bald einen nur wenig (Pinus), bald mehr (Picea, Larix

Digitized by Google

auf der Oberseite) senkrecht zur Blattfläche verlängerten Durchmesser besitzt. Bemerkenswerth ist hier die eigenthümliche Verdickungsweise der hierher gehörigen Zellen von Pinus (S. 133, Fig. 69 III. u. Fig. 347).

Als fremde Elemente treten in dem Rindenparenchym bei einzelnen Gattungen der Taxineen und Araucarien einzelne kürzere oder längere, meist verästelte Faserzellen, bei anderen Familien die im weiteren Verfolge zu besprechenden Harzgänge auf, so bei Cephalotaxus, Podocarpus, Sciadopitys und Dammara.

In den Gattungen Pinus, Picea und Larix wird das Chlorophyllgewebe (die Blattrinde) von dem inneren chlorophyllfreien, theils Stärke, theils wässerigen Inhalt führenden Parenchym, welches bei Pinus mehr oder minder regelmässig vieleckig erscheint (Fig. 346 *P*) und kleine deutliche behöfte Poren, bei Podocarpus (Fig. 347 *M*) eine quergestreckte Form besitzt und als Markgewebe bezeichnet werden kann, durch einen einreihigen, die Bündelscheide bildenden Ring getrennt, welcher aus abweichend gebildeten, in tangentialer, mehr aber in axialer Richtung in die Länge gestreckter Zellen besteht, deren Seitenwände mit zierlichen unbehöften Poren ziemlich dicht besäet sind (Fig. 346 *S*).

Die bald einzelnen (Fig. 344 und 347), bald zu zwei vorhandenen und durch Zwischenschiebung einiger bis mehrerer Reihen von Parenchymzellen oder von solchen im Vereine von Faserbündeln getrennten Gefässbündel (Fig. 344 und 346) bestehen aus Holz und Bast, deren Elemente in ziemlich regelmässigen, bald mehr nach dem Radius, bald mehr nach dem Querdurchmesser der Nadel gerichteten Reihen hinter einander stehen. Das Holz enthält nach aussen einige Spiralgefässzellen, nach innen behöft poröse Holzzellen, den Bast bilden mehr oder minder verdickte Bastgefässzellen. Zwischen den ein- bis mehrreihigen Holz- und Bastelementen finden sich Inhalt führende, etwas radial gestreckte, ebenfalls in Reihen geordnete Zellen als Zwischen- oder Strahlengewebe. Bei Pinus treten über dem Basttheile des Gefässbündels mehr oder minder starke Bündel von fast bis zum Verschwinden des Lumens verdickten Faserzellen auf, welche sich in mehr oder minder mächtigen Gruppen zwischen die beiden Gefässbündel hineinziehen und bei etwas schwächerer Verdickung ihrer Wände in einer zusammenhängenden Reihe oder auch durch zartwandige Zellen getrennt noch eine Strecke unter dem Holztheile fortsetzen (Fig. 346).

Mit Ausnahme von Taxus besitzen alle Nadelholzblätter Harzbehälter, welche bei den Schuppennadeln von kugelförmiger Gestalt sind, bei den gestreckten Nadeln echte Gänge bilden. Die Stellung dieser Behälter ist eine dreifach verschiedene. Dieselben liegen nämlich bei den einnervigen Nadeln entweder je einer dicht unter dem Gefässbündel zwischen diesem und der unteren Blattfläche (Juniperus, Cupressus, Cephalotaxus), oder je zwei in der Nähe der Blattränder zur Seite des Gefässbündels, meist der unteren Blattfläche mehr genähert

Digitized by Google

(Pinus, Abies etc.). Bei den mehrnervigen Nadelblättern (Araucaria brasiliensis, Fig. 345) nehmen die Harzgänge, von denen ein etwa in der Mitte des Blattes gelegener sich durch seine Grösse auszeichnet, ihre Stellung zwischen je zweien der hinter ihrem Holztheile von Gruppen

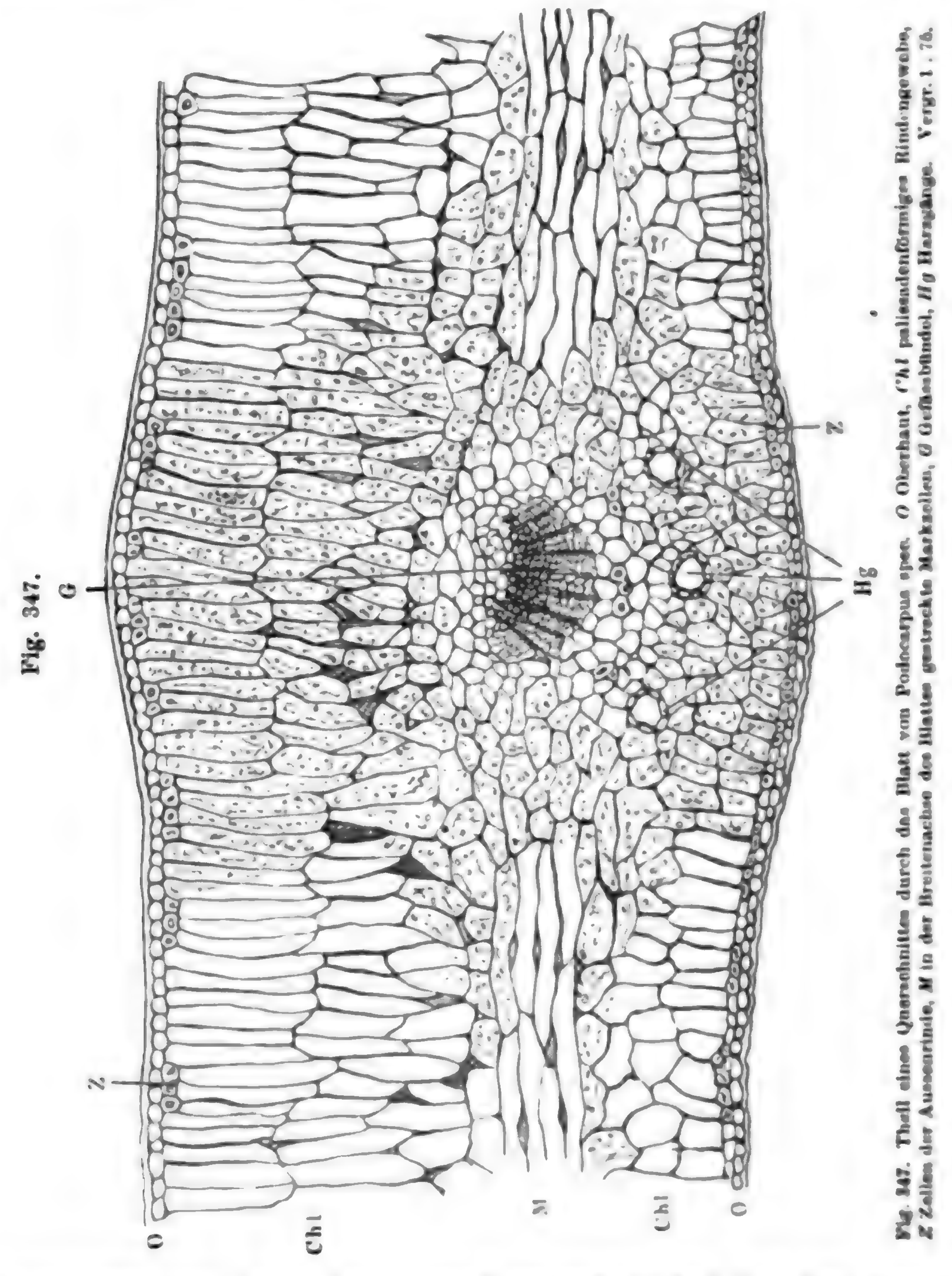


Fig. 347. Theil eines Querschnittes durch das Blatt von Podocarpus spec. O Oberhaut, Chl palissadenförmiges Rindengewebe, Z Zellen der Aussenrinde, M in der Breitenachse des Blattes gestreckte Markzellen, G Gefässbündel, Hg Harzgänge. Vergr. 1 : 75.

eigenthümlicher Zellen begleiteten Gefässbündel, und ihre Zahl steht dann im Verhältnisse zu der Zahl der letzteren.

Treten die Harzbehälter unter normalen Verhältnissen auch immer in der angegebenen Zahl auf, so häuft sich dieselbe doch auch oft durch

Digitized by Google

accessorische Harzgänge, so z. B. bei Podocarpus (Fig. 347) und namentlich bei den Pinusarten, wo nicht selten 12 bis 15 und mehr Harzgänge zu beobachten sind (Fig. 346). Diese Vermehrung ist Folge von später zwischen und in der Nähe der wesentlichen entstandenen Harzgängen, die demgemäss auch nur in den mittleren Theilen des Blattes vorhanden sind, an dem Grunde und an der Spitze aber fehlen.

Die Structur der Harzgänge ist hier wesentlich dieselbe wie in der Rinde des Stammes. Nur bei gewissen Pinus- (Gruppe Pinaster) und Piceaarten werden die zartwandigen Auskleidezellen von einem nach Möbius bisweilen von einer zartwandigen Zelle durchbrochenen Kranze stark verdickter Faserzellen umgeben (Fig. 346).

Zur Ermittelung der chemischen Beschaffenheit der Zellwände der verschiedenen Elemente des gesammten Blattgewebes empfiehlt sich die Anwendung sowohl der Zellstoffreagentien als die differenzirender Färbeflüssigkeiten und der Doppelfärbungen.

4. Das Blatt der Monokotyledonen.

Die Oberhaut des Monokotyledonenblattes bietet eine grosse Mannigfaltigkeit in ihrem Baue und bedarf es hier schon weit ausgedehnter Untersuchungen, um über diese wie über die anderen Verhältnisse des Blattbaues die nothwendige Uebersicht zu erlangen. Namentlich würden hier monographisch für die einzelnen Familien durchgeführte Beobachtungsreihen am Platze sein. Wir müssen uns hier nur auf einige Andeutungen beschränken, die mehr zur allgemeinen Kenntniss des Blattbaues leiten. Was die Form der Oberhautzellen betrifft, so sind dieselben auf dem Querschnitte entweder mehr oder minder zusammengedrückt, oder fast isodiametrisch oder nahezu palissadenförmig (namentlich auf der Unterseite). In der Flächenansicht wechselt die Gestalt von dem isodiametrischen Vier-, Fünf- bis Sechseck (Smilaceen, Orchideen, Liliaceen, Alismaceen u. s. w.) durch das in der Längenachse des Blattes wenig gestreckte (Commelineen etc.) bis zum langgestreckten Polygon (manche Liliaceen, z. B. Allium, Hyacinthus, Irideen), während quergestreckte Formen nur selten vorkommen (einzelne Bromeliaceen).

Für eine und dieselbe Pflanze wechselt die Form meistens etwas je nach der Blattseite. Die bedeutendste Veränderung erleidet dieselbe indessen bei den Arten, bei denen nicht die ganze Oberhaut aus sehr gestreckten Zellen zusammengesetzt wird. Hier ist die Gestalt je nach der Lage der betreffenden Zellen längs der Spaltöffnungen oder über den Nervenbahnen eine verschiedene. In der Regel tritt über den letzteren eine mehr oder minder bedeutende Streckung ein, während nächst den ersteren sich ein Streben zur Isodiametrie, ja sogar zur Ausdehnung in die Querachse bemerklich macht.

Die secundäre Verdickung der Oberhautzellen ist bald geringer (Musa, manche Orchideen, Alisma, Chlorophytum etc.), bald stärker

Digitized by Google

(Aloë-, Gasteria- und Yuccaarten, Dasylirion, Ruscus, Palmen u. s. w.), immer einseitig nach aussen, nur bei den Bromeliaceen nach innen.

Die Spaltöffnungen treten bald nur einseitig und dann auf der Unterseite auf (die meisten Liliaceen, Orchideen, Asphodeleen), bald sind sie auf beiden Seiten anzutreffen, doch dann auf der Oberseite minder zahlreich (Dasylirion, Yucca, Bromeliaceen). Dieselben liegen theils in der Oberhaut, und zwar entweder etwas über dieselbe mit ihren Schluss-

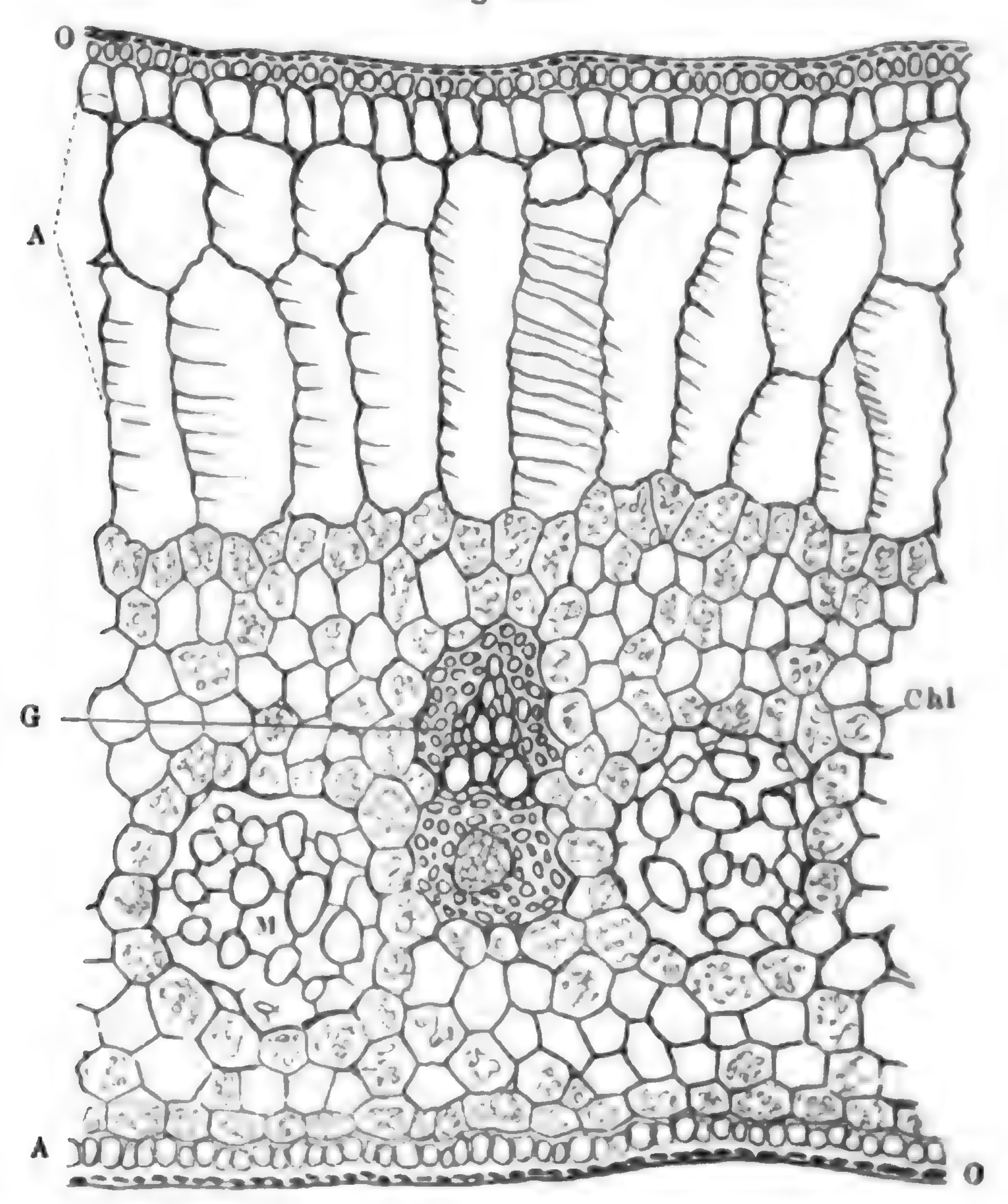


Fig. 348. Querschnitt durch das Blatt von Bromelia sp. *O* Oberhaut, *A* Aussenrinde der Oberseite, *Chl* Innenrinde, *M* Schwammgewebegruppe, *G* Gefässbündel. Vergr. 1 : 150.

zellen hervorragend, Fig. 315 I, S. 398 (tropische Orchideen), oder mit derselben nahezu in gleicher Fläche (manche Liliaceen, z. B. Tulipa), theils mehr oder minder tief unter derselben (Chlorophytum, Arthropodium, Dasylirion, Yucca, Aloë, Gasteria etc.), einzeln (Fig. XXII 1 auf Tafel II und XXIV 1 auf Tafel III) oder in Gruben und Längsrinnen (Bromeliaceen) versenkt, welche dann hier und da noch durch eigenthümliche schuppen- oder haarartige Auswüchse der Epidermiszellen ausgezeichnet sind (Fig. 215 V, S. 329). Ihre Anordnung folgt dem Verlaufe der Nerven.

Digitized by Google

so dass sie bei allen parallelnervigen Gattungen in Längsreihen liegen, bei den netzadrigen Blättern der Alismaceen und Aroideen aber zwischen diesen ohne bestimmte Ordnung zerstreut stehen.

Eine Scheidung der Blattrinde in Aussen- und Innenrinde (beziehentlich der Oberhaut in Epidermis und Hypodermis) tritt nur in mehr vereinzelten Fällen auf. So besitzen Musa, Canna, Strelitzia, Maranta, Tradescantia, manche Palmen und die Bromeliaceen an beiden Blattseiten, andere, wie Phormium, manche Orchideen (Pleurothallis, Stelis u. a.), manche Aroideen (Philodendron, Anthurium), Pandanus, mindestens an der Oberseite eine scharf ausgesprochene Aussenrinde oder Hypodermis, welche aus chlorophyllleeren, wässerige Säfte führenden, entweder nahezu isodiametrischen (Fig. 349) oder nur wenig in der zu den Blattflächen senkrechten Richtung gestreckten, meistens wenig, bei den Ananasgewächsen dagegen stärker verdickten Zellen besteht, welchen dann nach innen — namentlich an der Oberseite — oft noch eine bis mehrere Lagen, grosser gleichen Inhalt führender, mit der Längsachse nach dem inneren Chlorophyllgewebe gewendeter, nur wenig verdickter, hier und da Faltungen oder spiral- bis netzförmige Verdickung der Längswände zeigender (Bromelia sp.) Zellen erscheinen (Fig. 348).

Die Innenrinde oder, wo die eben beschriebenen Zellenlagen fehlen, die ganze Rinde zeigt hier gleichfalls mannigfache Abweichungen und besitzt nur insofern einen übereinstimmenden Bau, als dieselbe an der spaltöffnungsfreien Oberseite immer aus dicht an einander schliessenden, an der Spaltöffnungen besitzenden Unterseite häufig aus minder dicht an einander schliessenden Zellen besteht. Das Palissadenparenchym ist bei den Monokotyledonen entweder gar nicht vorhanden und es besteht die ganze Rinde aus entweder isodiametrischen, rundlichen oder polygonalen (Asphodeleen, Alismaceen, Bromelien, Fig. 348) oder in einzelnen Fällen (Allium Victorialis und ursinum, Iris, Convallaria Polygonatum) auch parallel zur Blattfläche gestreckten Zellen oder es zeigt nur eine geringere, oft kaum merkbare Verlängerung seiner Zellen senkrecht auf die Blattfläche (manche Liliaceen, z. B. Chlorophytum, Fig. 350). In anderen Fällen ist es nammentlich an der Oberseite kenntlicher entwickelt, so z. B. bei den Musaceen an der ganzen Oberseite, wo es von dem durch die ganze, zwischen der Aussenrinde gelegenen Blattmasse sich erstreckenden Gefässbündel unterbrochen wird, bei manchen Palmen (Fig. 349) u. s. w. Als fremde Elemente erscheinen in dem Parenchym der Rinde — nur bei Pflanzen, denen die Aussenrinde beziehentlich Hypodermis fehlt (?) — vereinzelte Faserbündel (Yucca, Livistonia, Butomus u. s. w.) (Fig. 350), Milchröhren (Allium), Milchsaftgänge (Alisma), oder einzelne krystallführende, längere, röhrenförmige Zellen, die „Krystallschläuche“, (Tradescantia), während hier und da die Gefässbündel bis in sie hinübertreten (Dasylirion, Phormium u. s. w., Fig. 351).

tized by Google

Der Inhalt des Rindengewebes besteht zum grössten Theile aus stärkehaltigen Chlorophyllkörnern, die mehr oder minder dicht in dem Wandprotoplasma angehäuft sind. Ausserdem erscheinen aber auch

Fig. 349.

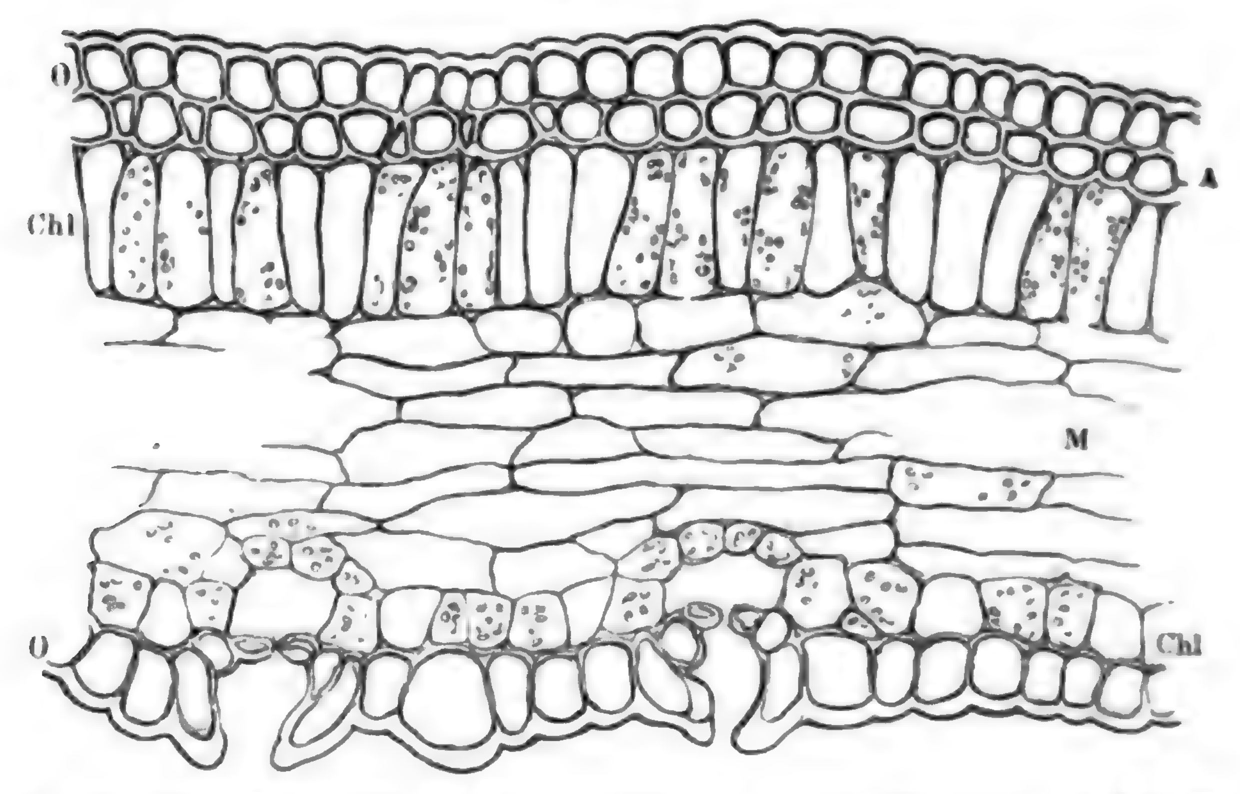


Fig. 349. Querschnitt durch ein Fiederblättchen von Phoenix dactylifera. *O* Oberhaut, *A* Aussenrinde der Oberseite, *Chl* Innenrinde, *M* Innengewebe. Vergr. 1 : 120.

theils gelöste, theils geformte anderweitige Bestandtheile, über welche man sich durch die Anwendung der schon aus dem zweiten Abschnitte bekannten Reactionsmethoden zu unterrichten hat. Krystalle des oxalsauren Kalkes trifft man, oft neben den in den schon erwähnten Zellen befindlichen Krystallnadeln, fast überall, entweder in allen Zellen der Aussen- und Innenrinde einzeln oder gehäuft (Tradescantia, Commelina), oder in einer Zellschicht dicht unter der Epidermis (Allium etc.), oder endlich in einzelnen abweichend gebauten Zellen (Iris, Aloë, Yucca, Musa etc.).

Durch ein sich mehr abrundendes Chlorophyllgewebe geht die Blattrinde mehr oder minder allmälig in das Innengewebe über. Dieses besteht, die Umgebung der Gefässbündel ausgenommen, wo es dichter gewebt erscheint, theils aus rundlichem, grosse Intercellularräume zwischen sich lassendem (Fig. 350), theils aus strahligem Parenchym, welches ein mehr oder minder entschieden ausgesprochenes Schwammgewebe bildet (Fig. 348). In einzelnen Fällen findet sich auch quergestrecktes Parenchym als Innengewebe (Phoenix, Fig. 349). Hier und da ist das ganze Blatt von zahlreichen grossen, durch einzellige Parenchymlagen begrenzten Luftgängen oder Luftlücken durchsetzt (Butomus umbellatus, Musa, Alisma, Calamus), oder es finden sich diese zwischen mächtigeren Parenchymlagen minder zahlreich ein (Bromeliaceen). Dieselben besitzen meistens aus schön sternförmigem Gewebe gebildete

Digitized by Google

Fig. 350.

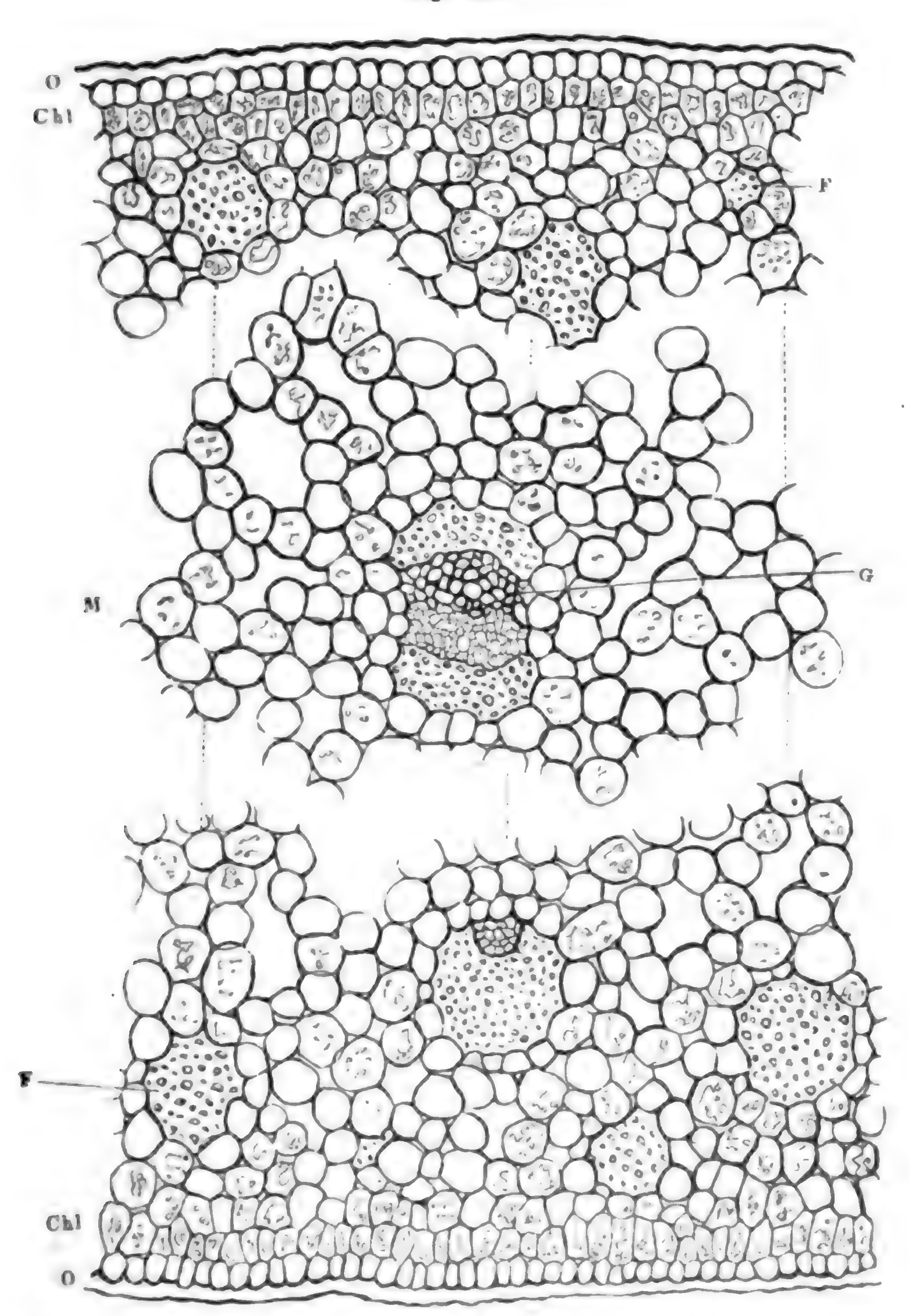


Fig. 350. Theil aus dem äusseren und dem inneren Theile des Querschnittes durch das Blatt von Yucca aloefolia. *O* Oberhaut, *Chl* Rindengewebe, *M* Innengewebe, *FF* Bastfaserbündel in der Blattrinde, *G* markständige Gefässbündel. Vergr. 1 : 120.

Digitized by Google

Querplatten (Diaphragmen), wie wir dieselben auch in dem Stengel derselben Gewächse finden.

Die Stellung der Gefässbündel ist bei verschiedenen Familien und Gattungen eine verschiedene. Entweder stehen dieselben einzeln und von einer Bündelscheide umgeben, den Nerven entsprechend, inmitten des Innengewebes (manche Lilien und Asphodeleen, Tradescantia u. s. w.), oder sie durchziehen in langgestreckter Form die ganze Breite des Blattes und zwar, wo die Aussenrinde fehlt, von dicht unter der Oberhaut an, wo diese vorhanden ist, von deren Grenze an, die sich um das

Fig. 351.

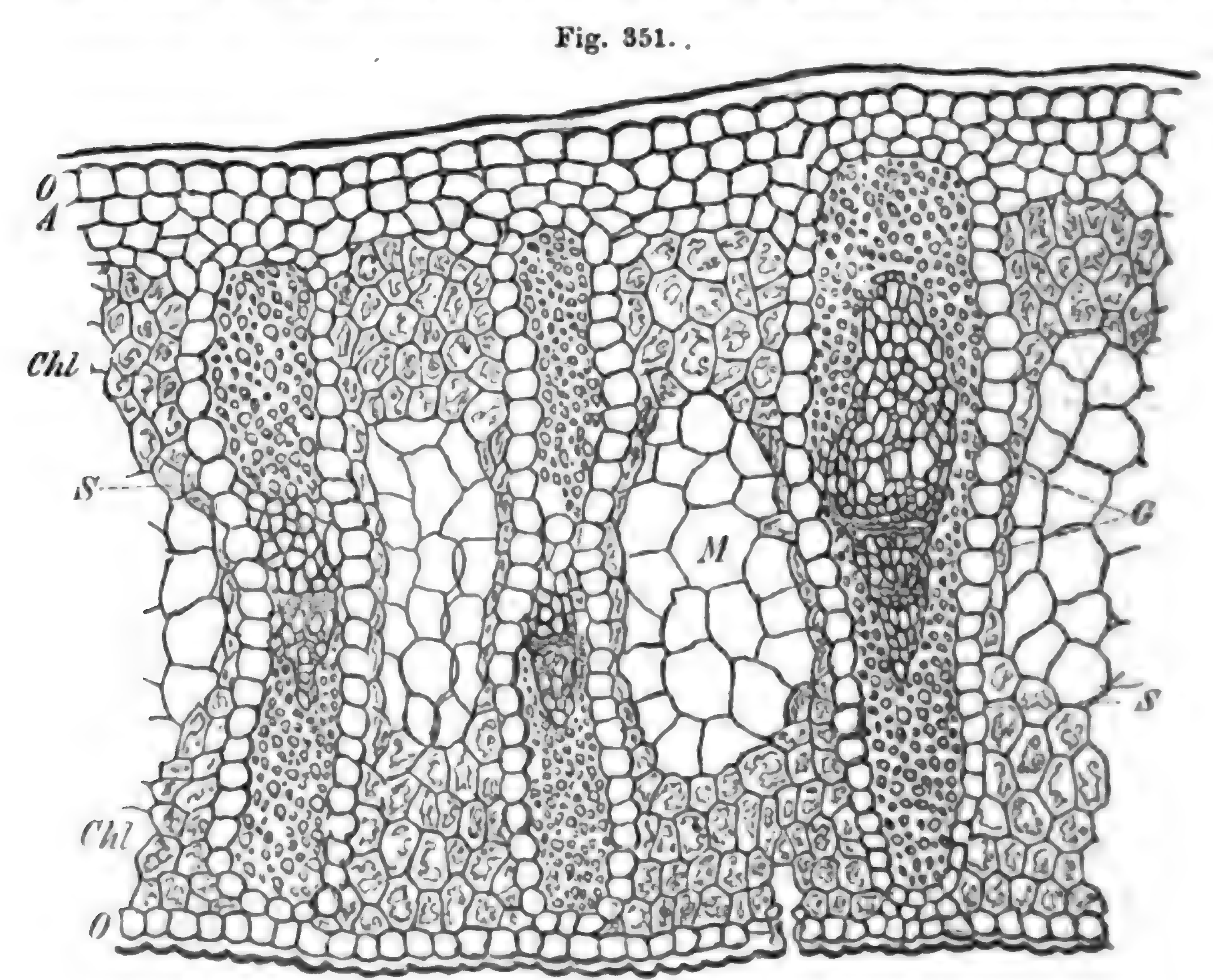


Fig. 351. Querschnitt durch das Blatt von Phormium tenax. *O* Oberhaut, *A* Aussenrinde der Oberseite, *Chl* Innenrinde, *M* Innengewebe, *S* Bündelscheide, *G* Gefässbündel. Vergr. 1 : 120.

Bündel als Scheide fortsetzt (Irideen, Phormium [Fig. 351], manche Bromeliaceen), oder es treten dieselben in mehreren Reihen auf, wie z. B. bei Yucca und bei Dasylirion, wo die grösseren Bündel in der Rinde, welche durch verdickte Zellen (gleichsam ein Analogon des Versteifungsringes) von dem Innengewebe abgeschlossen wird, neben einander gereiht sind, während die kleineren in der Mitte des letzteren stehen (Fig. 352).

Im Baue zeigen die Gefässbündel kaum eine Abweichung von denen des Stengels, nur findet sich in der Regel der Holzkörper, sowohl

Digitized by Google

was die Anzahl der Gefässe, als was die Holzfasern betrifft, ebenso das Faserbündel des Basttheiles im Verhältniss zum Weichbaste, welcher bisweilen nur aus Siebelementen besteht, stärker entwickelt (Fig. 348, 349 und 351). In einzelnen Fällen, wo faserartige Elemente fehlen, zeigen die Siebröhren eine collenchymartige Wandverdickung (Veratrum album, Orinthogalum nutans Anthericum Liliago). Wo in dem Stengel Milchröhren vorkommen, da bleiben dieselben auch in den Blättern unter ähnlichen oder gleichen Stellungsverhältnissen (Musa, Caladium u. s. w.).

Im Blattstiele treten im Ganzen dieselben Verhältnisse des Baues auf, wie in der Blattspreite. Die Zellen der Epidermis sind indessen in der Regel mehr in die Länge gestreckt, so dass selbst da, wo deren Gestalt in der letzteren isodiametrisch erscheint, sie in den ersteren mehr oder minder in der Achse verlängert wird. Die Spaltöffnungen sind weniger zahlreich, sonst aber in beiden Theilen von gleichem Baue. In einzelnen Fällen erscheint zwischen Rinde und Grundgewebe ein ganz entschieden ausgesprochener, sogar stellenweise ziemlich mächtig entwickelter, nach der Rinde hin an den Seiten durch breite chlorophyllführende Parenchymstreifen unterbrochener, verholzter, den äusseren Gefässbündelring aufnehmender Versteifungsring (Plectogyne und manche Palmen). Endlich treten dann noch in dem Grundgewebe mehr oder minder zahlreiche Gefässbündel auf.

Fig. 352.

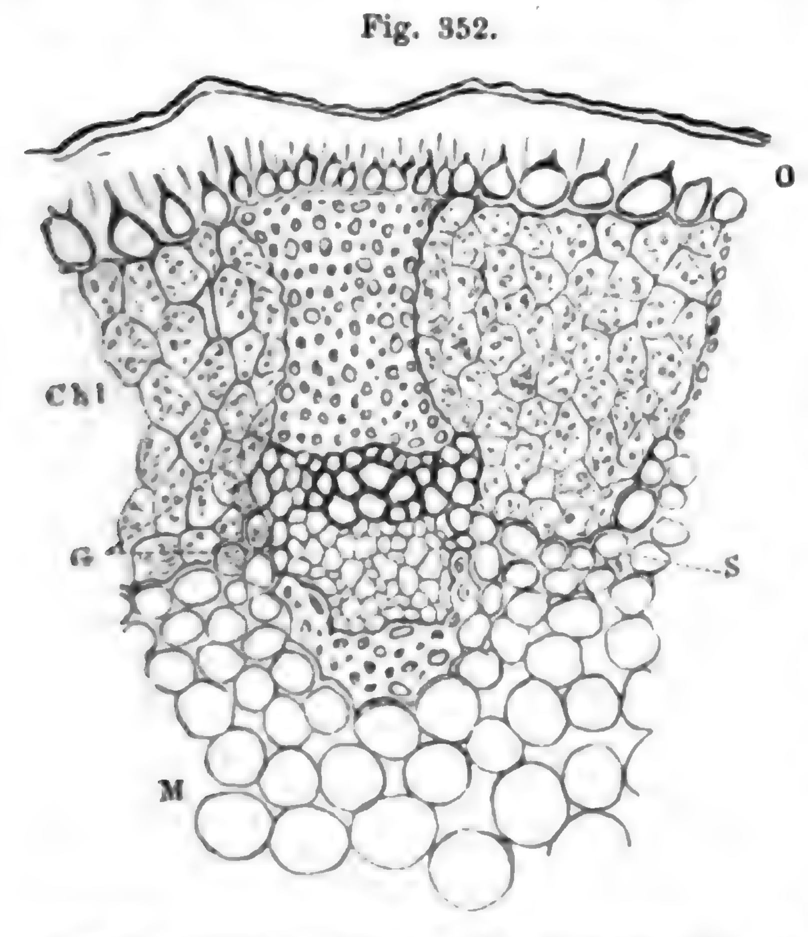


Fig. 352. Theil eines Querschnittes durch das Blatt von Dasylirion acrotriche. *O* Oberhaut, *Chl* chlorophyllführendes Rindengewebe, *G* Gefässbündel, *S* scheidenartiges Gewebe, *M* Innengewebe. Vergr. 1 : 120.

5. Das Blatt der Dikotyledonen.

Die Oberhaut ist hier zwischen den Nerven und deren Verzweigungen stets von auf dem Querschnitt mehr oder minder tafelförmigen, bald vier- bis mehrseitigen polygonalen (Citrus, Syringa, Ficus elastica, Ampelopsis, Vitis, Hakea u. a.), bald strahlig mit geraden Zickzacklinien (Deutzia), oder völlig buchtig in einander greifenden

(Fagus, Magnolia, Aucuba und wohl die Mehrzahl der Dikotyledonen) Zellen gebildet. Ueber den Nerven weicht (wo diese nicht, wie bei den Crassulaceen, tief im Parenchym liegen) die Gestalt der Oberhautzellen in allen Fällen ab und geht in ein von geraden Seiten begrenztes, mehr oder minder in die Länge gestrecktes und schiefwinkeliges Parallelogramm über. Weitere Abweichungen in der Gestalt finden sich bisweilen bei den Cystolithen führenden Familien der Urticaceen und der Artocarpeen (Humulus, Cannabis), sowie in der Section Cymbalaria der Gattung Saxifraga mit vereinzelten oder reihenständigen Gerbstoffschläuchen (Engler).

Die secundären Verdickungsschichten sind, soweit meine Beobachtungen reichen, immer vorzugsweise nach der Aussenseite und zwar bald mehr bald minder mächtig entwickelt, und bei manchen Proteaceen, z. B. Hakea, von Porencanälen durchsetzt.

Die Spaltöffnungen fehlen nur den in Wasser untergetauchten Blättern, z. B. den betreffenden Ranunculusarten, und einigen wenigen in der Luft vegetirenden Dikotyledonen (Monotropa und nach Schacht auch Epigogum Gmelini). Bei den auf dem Wasser schwimmenden Blättern (Ranunculus fluitans, Polygonum amphibium u. a.) gehören sie nur der Oberfläche an, bei den in der Luft vegetirenden dagegen sind sie meistens nur auf der Unterseite, hier und da aber auch auf beiden Blattseiten (Helianthus tuberosus, Tussilaga Farfara) vorhanden. Dieselben sind (S. 324 u. f.) meistens ohne bestimmte Ordnung zerstreut und mit ihrer Längsachse nach den verschiedensten Seiten gerichtet; nur in einzelnen Familien (Begoniaceen) treten dieselben zu kleineren oder grösseren, von abweichend gestalteten, oft kleineren Zellen umgebenen Gruppen zusammen, während die umgebenden Oberhautzellen davon frei bleiben. Die Schlusszellen liegen in den meisten Fällen in der Epidermiszellenreihe höher (manche Labiaten, Petasites officinalis, Tussilago Farfara u. a.) oder tiefer; in selteneren Fällen (Hakea, Ficus elastica und australis) sind sie mehr oder minder tief unter die Oberhaut oder gar in behaarte Gruben (Nerium, Fig. 215 IV, S. 329, Banksia) versenkt.

Die Anhangsorgane der Oberhaut, welche wir in dem zweiten Abschnitte näher kennen lernten, gehören theils nur der unteren (Magnolia), theils beiden Blattflächen an und verdienen die gleiche Beachtung wie die Spaltöffnungen u. s. w.

Die Blattrinde der Dikotyledonen lässt mit Ausnahme der Fälle, wo sie, wie bei Cissus antarcticus, Populus balsamifera, Syringa, Cydonia, Helianthus tuberosus, Sambucus nigra, in Gestalt von oft Stärke führendem Collenchym an über den grösseren Nerven liegenden Stellen, an denen dieselbe zum mindesten angedeutet, meistens aber ausgebildet ist (Fig. 356), nur selten eine über die ganze Blattspreite ausgedehnte Scheidung in eine einen wässerigen Inhalt führende, nur unter den Spaltöffnungen unterbrochene Aussen- und eine chlorophyllhaltige Innen-

Digitized by Google

rinde beobachten. Bei manchen diese Scheidung zeigenden Gewächsen, z. B. Ilex aquifolium, Nerium Oleander, Begonia Prestoniensis, zebrina, Saudersonii u. a., Dipsacus Fullonum, Veronica- und Peperonicaarten ist eine deutliche, seltener ein- (Unterseite), meist mehr- bis vielschichtige (Oberseite) Aussenrinde (Hypoderm der Autoren) an beiden Blattseiten vorhanden (Ficus elastica), bei anderen ist sie nur an einer Seite entwickelt (Magnolia-, Aralia-Arten etc., Fig. 353) und besteht

Fig. 353.

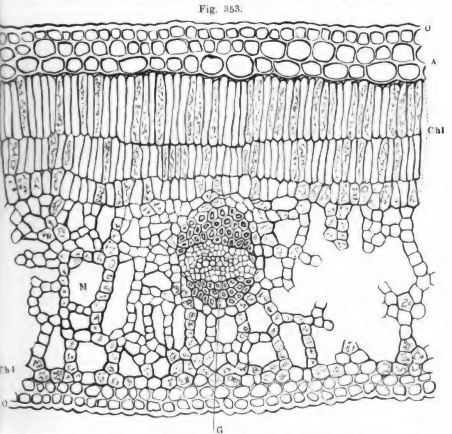


Fig. 353. Querschnitt durch das Blatt von Aralia trifoliata. *O* Oberhaut, *A* Aussenrinde, *Chl* chlorophyllführende Innenrinde, *M* Innengewebe, *G* Gefässbündel. Vergr. 1 : 120.

aus bald mehr, bald minder grossen, hier und da nach dem Blattinnern etwas verlängerten, mässig verdickten, dicht an einander schliessenden Zellen (Fig. 353 und 356). In diesem Theile des Blattgewebes treten, wo sie nicht der Oberhaut angehören, in den Familien der Urticeen, Artocarpeen, Acanthaceen die durch ihre Gestalt und Grösse ausgezeichneten, oft in das Chlorophyllgewebe hineinreichenden, Cystolithen führenden Zellen auf (Fig. 69 VI, S. 132).

Die Innenrinde, beziehentlich das äussere Chlorophyllgewebe (Pfahlzellengewebe Loebel) besteht an der Oberseite der Blätter meist und auch dann, wenn dieselbe in der Oberhaut Spaltöffnungen enthält, aus einem deutlichen, aus mehr oder minder in der zur Blattfläche senkrechten, bisweilen auch nach der Längs- oder Querachse etwas hierzu geneigten Richtung gestreckten, in der Flächenansicht vieleckig-rundlichen, kleinere Intercellularräume zwischen sich lassenden, oder durch Einfaltung der Seitenwände mehrlappigen, von grösseren lufterfüllten Räumen begleiteten Zellen gebildeten Palissadenparenchym (Aralien, Dictamnus, Citrus, Begonia), das bald ein-, bald mehrschichtig (Fig. 355, 356 und 353) entwickelt ist und in letzterem Falle nach innen durch kürzere Palissadenzellen oder ein mehr rundliches Gewebe in das innere Chlorophyllgewebe übergeht. In einzelnen Fällen wird dasselbe durch isodiametrische chlorophyllführende Zellen ersetzt (Viscum album, Euca-

Fig. 354.

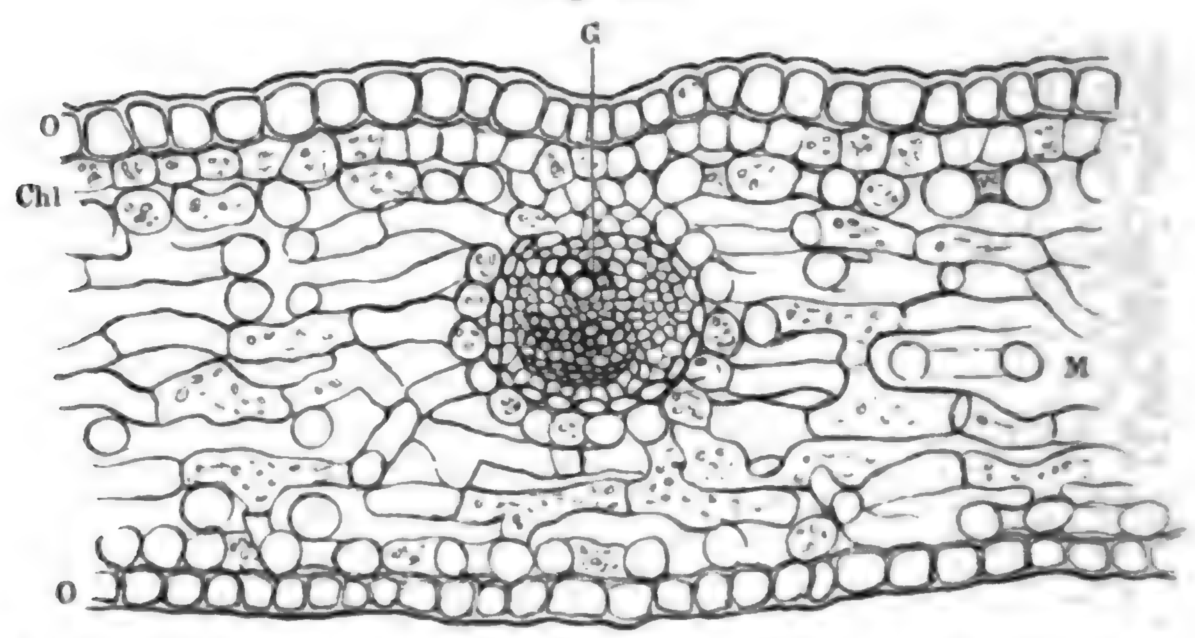


Fig. 354. Querschnitt aus dem Blatte von Eucalyptus globosus. *O* Oberhaut, *Chl* Rindengewebe der Oberseite, *M* Innengewebe, *G* Gefässbündel. Vergr. 1 : 100.

lyptusarten, Fig. 354). An der Unterseite ist die Palissadenform entweder durch minder gestreckte Palissadenzellen vertreten und weniger deutlich ausgeprägt oder sie fehlt ganz und es tritt, wie bei den auf der Oberseite dunkler, auf der Unterseite heller gefärbten Laubblättern, z. B. Fagus, Quercus, manche Aralien, Begonien u. s. w., ein rundliches oder buchtig strahliges Gewebe auf (Fig. 354 bis 356). Von eigenthümlichem Baue ist das Palissadengewebe der Hakeaarten, indem es nicht dicht geschlossen ist und von gedrängten oder vereinzelt stehenden, an Länge den Palissadenzellen gleichen verdickten Zellen begleitet wird, welche in der Regel an der Epidermis und dem unter dem Palissadenparenchym liegenden rundzelligen Chlorophyllgewebe mit verbreiterter Basis angefügt sind.

Als fremde Bestandtheile treten in dem Rindengewebe, wo dieselben im Stengel der betreffenden Pflanze vorkommen, Milchröhren (Ficus), ver-

Digitized by Google

einzelte, oft verzweigte Faserzellen (Hoya, Olea fragrans, u. s. w.) oder zierlich verzweigte, kürzere, verdickte Zellen (Magnolia, Begonia), ferner Behälter eigenthümlicher Säfte, Oeldrüsen, Oellücken und dergleichen (Citrus, Ruta, Dictamnus u. a.) auf. Einzelne krystallführende Zellen finden sich bei Pyrus, namentlich über den Gefässbündeln, bei Cytrus dicht unter der Oberhaut, bei Cissus antarcticus unter dem Palissadengewebe (Fig. 356). In der Aussen-, bisweilen auch der Innenrinde von Ficusarten, sowie von anderen Urticeen und Acanthaceen treten die

Fig. 355.

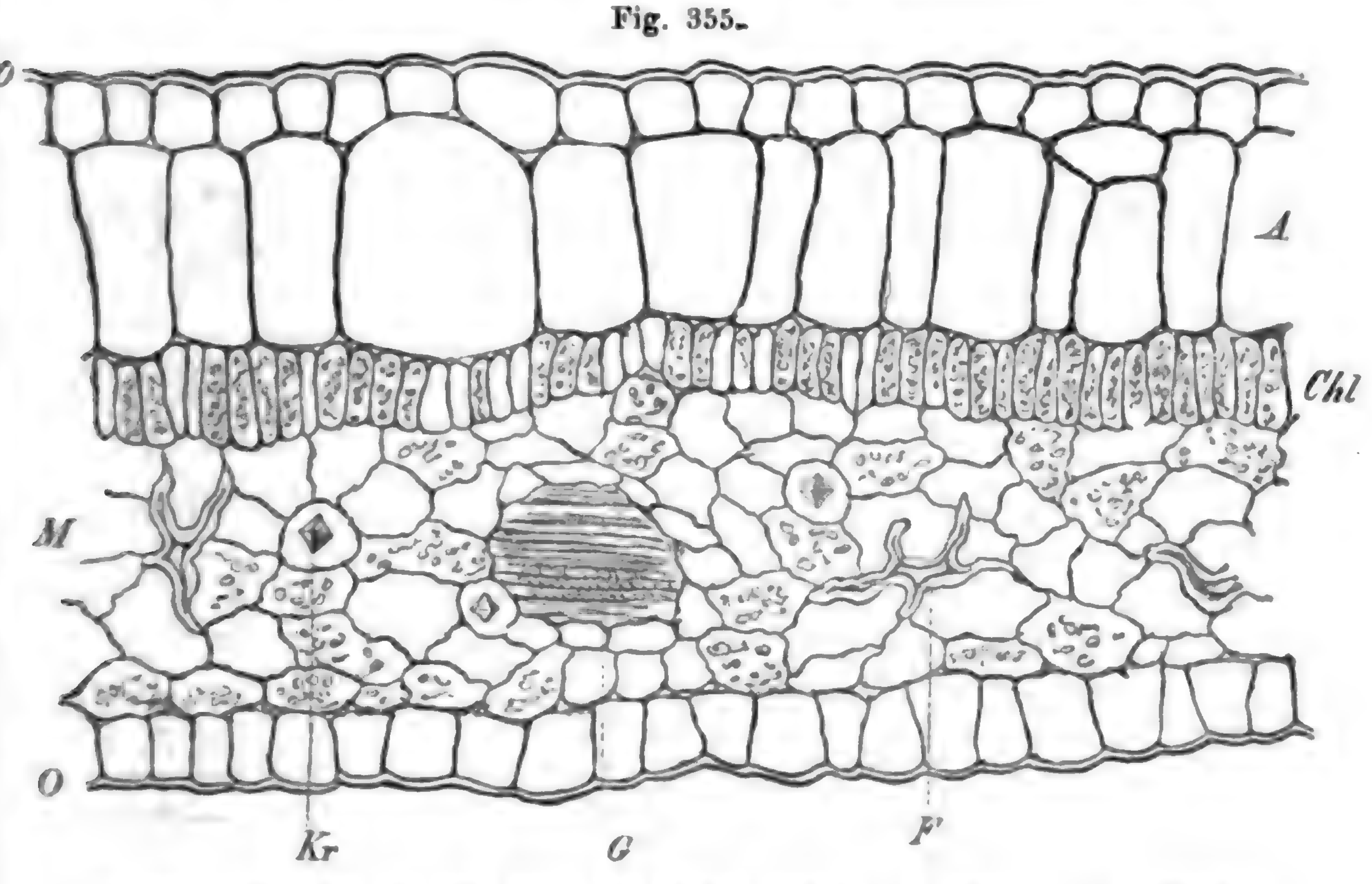


Fig. 355. Querschnitt aus dem Blatte von Begonia Zebrina. *O* Oberhaut, *A* Aussenrinde, *Chl* Innenrinde der Oberseite, *M* Innengewebe, *G* Gefässbündel (schief durchschnitten), *Kr* krystallführende Zellen, *F* verästelte bastfaserartige Zellen. Vergr. 1 : 120.

eigenthümlich verdickten, mit Calciumcarbonat incrustirten Zellkörper (Cystolithen) auf.

Inwieweit die aufgeführte Verschiedenartigkeit in dem Baue der Blattrinde, des Vorkommens von fremden Zellenelementen u. s. w. ganzen Familien, Untergruppen, Gattungen, inwieweit sie in diesen Kreisen nur gewissen Arten eigen sind, müssen vergleichende, darauf berechnete Untersuchungen darthun, für welche hier noch ein fruchtbares Feld sein dürfte.

Das Mark- beziehentlich das innere Chlorophyllgewebe (Schwammgewebe Loebel) besteht seltener aus nahezu polygonalen, kleine Intercellularräume zwischen sich lassenden (Fig. 356), bis mehr oder minder rundlichen, von grösseren Intercellularräumen begleiteten, in den meisten Fällen aus unregelmässigen, buchtig strahligen Parenchymzellen und bildet ein deutlich ausgesprochenes Schwammgewebe (Fig. 354). Hier

Digitized by Google

und da geht dasselbe auch in ein quergestrecktes Parenchym über (Magnolia). In anderen Fällen lässt es grosse, oft von nur einschichtigen Zellstreifen unterbrochene Luftlücken und Luftgänge zwischen sich (Aralia, Fig. 353). In der Umgebung der Gefässbündel geht das an Chlorophyllgehalt dem Rindengewebe meist nachstehende, bisweilen zum Theil chlorophyllleere, dagegen häufig Calciumoxalat, Schleim und andere Säfte führende Innengewebe in eine meist aus einer Lage dicht an einander schliessender, in der Längsachse des Blattes etwas gestreckte, unmittelbar an das Schwammgewebe ansetzende oder durch kurze Arme mit demselben verbundene Zellen gebildete Scheide über. Bisweilen treten hier wie in dem äusseren Chlorophyllgewebe verästelte Faserzellen auf (Fig. 355).

Fig. 356.

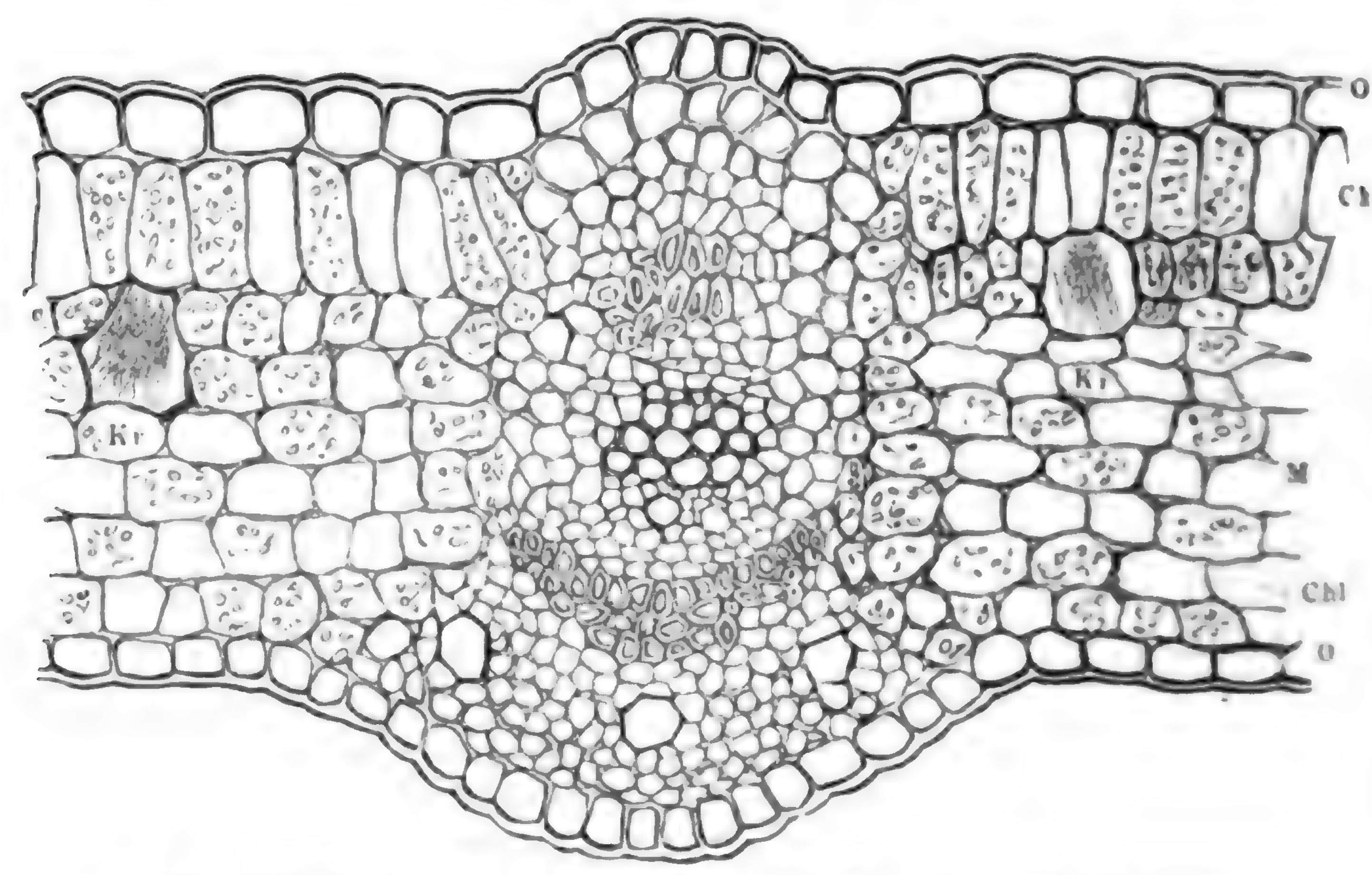


Fig. 356. Querschnitt aus dem Blatte von Cissus antarcticus. *O* Oberhaut, *Chl* chlorophyllführendes Rindengewebe, *M* Innengewebe, *G* Gefässbündel, *Kr* krystallführende Zellen. Vergr. 1 : 180.

Die das Blattnervennetz bildenden Gefässbündel, von denen die kleineren in dem Innengewebe liegen (Fig. 353 u. 354), die grösseren auch das Rindengewebe, und zwar bisweilen bis zur Oberhaut durchsetzen (Cissus antarcticus, Ficus elastica, Fig. 356), und deren Verzweigungen, Anastomosen und Endigungen man an Flächenschnitten oder dünnen Blättern, welche durch vorausgehende Behandlung erst mit absolutem Alkohol, dann mit wässeriger Chloralhydratlösung durchsichtig gemacht wurden, beobachtet, lassen bezüglich ihres histologischen Aufbaues in der Regel sämmtliche Elemente, von denen diejenigen des Holztheiles der Ober-, die des Basttheiles der Unterseite zugewendet erscheinen.

Digitized by Google

beobachten, welche wir auch in dem Stamme finden (Fig. 356). Namentlich sind diejenigen der Hauptnerven vollständig und auf dem Querschnitte beiderseitig, mit Ausnahme der Fälle, wo, wie bei den S. 509 (Aussenrinde) erwähnten Pflanzen, die Bastfasern fehlen, meist ziemlich gleichmässig entwickelt. In den Verzweigungen treten dann einzelne Elemente zurück oder fehlen ganz und die feinsten Endigungen sind nur noch aus einer oder einzelnen, ring-, spiral- oder leiterförmig verdickten Röhrenzellen gebildet, während die Randbündel lederartiger Blätter (Buxus) aus einigen stark verdickten Faserzellen bestehen.

Zur Untersuchung des histologischen Baues der Laubblätter der höheren Gewächse bedarf es der Querschnitte durch verschiedene Stellen und in verschiedenen Richtungen, um dadurch die Lagerungsverhältnisse der verschiedenen Gewebepartien, den Bau der Spaltöffnungen, die Verbindungsweise der Haare, Schuppen mit den Epidermiszellen zu ermitteln. Demnächst fertige man zur Ermittelung der Formverhältnisse der Oberhautzellen, der Vertheilung der Spaltöffnungen u. s. w. dünne oberflächliche Flächenschnitte an beiden Seiten, während tiefere ähnliche Schnitte über den Bau der Rinde, des Innengewebes und der Gefässbündel Aufschluss zu ertheilen haben. Für die genaue Kenntniss der Zusammensetzung der letzteren müssen Längsschnitte senkrecht zur Blattfläche geführt und zur Ermittelung der Gestalt und des feineren Baues der einzelnen Elementarorgane durch Maceration isolirte Zellen der Betrachtung unterworfen werden. Verwendung der „Zellstoffreagentien“ wie von einfachen differenzirenden sowohl als Doppelfärbungen werden die Erkenntniss der gedachten Einzelheiten wesentlich fördern.

Digitized by Google

Vierter Abschnitt.

Untersuchungen aus der Entwickelungsgeschichte.

Erstes Kapitel.

Entwickelung einzelner Gewebetheile.

I. Hautgewebe.

1. Entwickelung der Spaltöffnungen.

Die Entstehung der Spaltöffnungen verfolgt man am leichtesten bei den Monokotyledonen, namentlich bei den Zwiebelgewächsen (Allium, Iris, Glodiolus, Hyacinthus etc). und ähnlichen Pflanzengruppen, bei denen die Blattanlagen und unteren Blatttheile lange in den Blattscheiden eingeschlossen bleiben (Arthropodium etc.). Man geht dabei von den jüngsten noch in den Zwiebel- oder Blattscheiden steckenden, ungefärbten Blatttheilen oder von ganz jungen Blattanlagen aus und steigt dann bei ersteren weiter nach der Spitze hinauf oder geht bei letzteren nach und nach zu den nächst älteren Blättchen über. Zarte Flächenschnitte oder abgezogene Theile der eben aus ihrem Bildungsgewebe hervorgegangenen Oberhaut gewähren hier für einzelne Verhältnisse die erforderlichen Aufschlüsse. Man beobachtet zunächst das Hervorgehen der Mutterzellen aus gewöhnlichen Oberhautzellen durch meist ungleichwerthige Zweitheilung dieser (Fig. 357, I), dann die Entstehung der Schliesszellen (Fig. 357, II, *spm* bis *sp'''*) durch bei gestreckten, in Längs- oder Querreihen stehenden Oberhautzellen in bestimmter, bei solchen ohne derartige Anordnung in wechselnder Richtung erfolgende Theilung der Mutterzellen. Im weiteren erkennt man die durch das allmälige Auseinanderweichen des mittleren Theiles der Berührungsflächen der beiden anfänglich mit geraden Wänden an einander liegenden Tochterzellen die spaltförmige Oeffnung bewirkende (Fig. 357, II und 360, II) Formänderung der „Schliesszellen" und somit die Entstehung des „Spaltendurchganges" (Fig. 357, II *sp'''* bis III sammt der Erklärung). Endlich geben sie für die bei manchen Pflanzen (Tradescantia, Ficus elastica, Cycas, Carex, Cyperus, Commelina etc.) stattfindenden, die Nebenzellen erzeugenden Theilungen der benachbarten

Digitized by Google

Fig. 357.

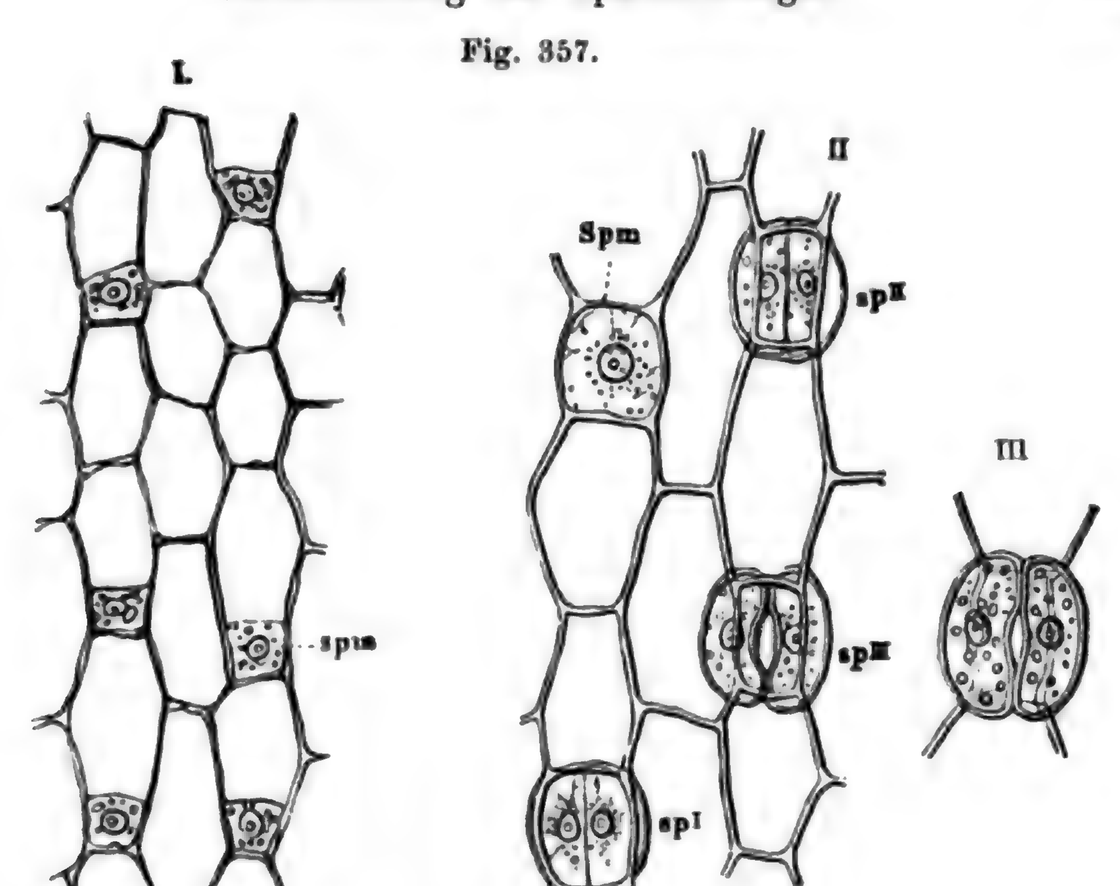


Fig. 357. I bis III. Flächenschnitte aus der Oberhaut von Arthropodium cirrhatum. I. *spm* eben entstandene Mutterzellen der Spaltöffnungen. — II. Verschiedene Entwickelungszustände der Spaltöffnungen, *spm* fertige Mutterzelle, *sp*^I bis *sp*^III auf einander folgende Theilungszustände. — III. Fertige Spaltöffnung von unten gesehen.

Fig. 358.

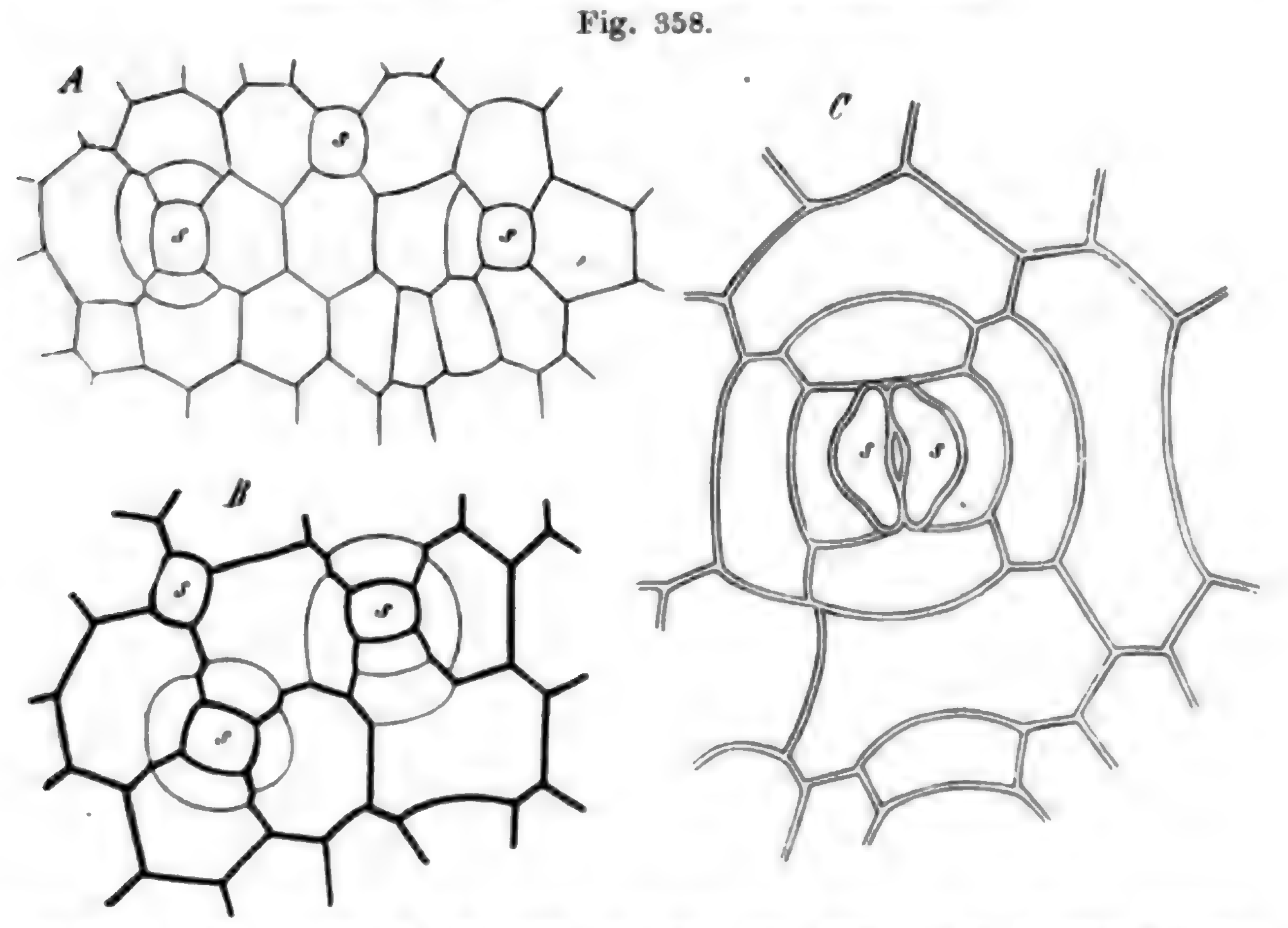


Fig. 358. Flächenschnitte aus dem Blatte von Commelina coelestis. *A* sehr junger, *B* älterer Zustand, *s* die beiden Anfangs- und zugleich Mutterzellen der Spaltöffnung. *C* ausgebildet, *s* Schliesszellen (nach Sachs).

Digitized by Google

Oberhautzellen (Fig. 358 a. v. S.), oder die mehrfachen Schliesszellen und Nebenzellen hervorbringenden eigenthümliche, mehr oder minder ausgesprochene halbmondförmige Gestalt bedingende Theilungen der Anfangszelle (Sedumarten, Mercurialis, manche Labiaten u. s. w., Fig. 359), ganz passende, leicht zu behandelnde und völlig aus-

Fig. 359.

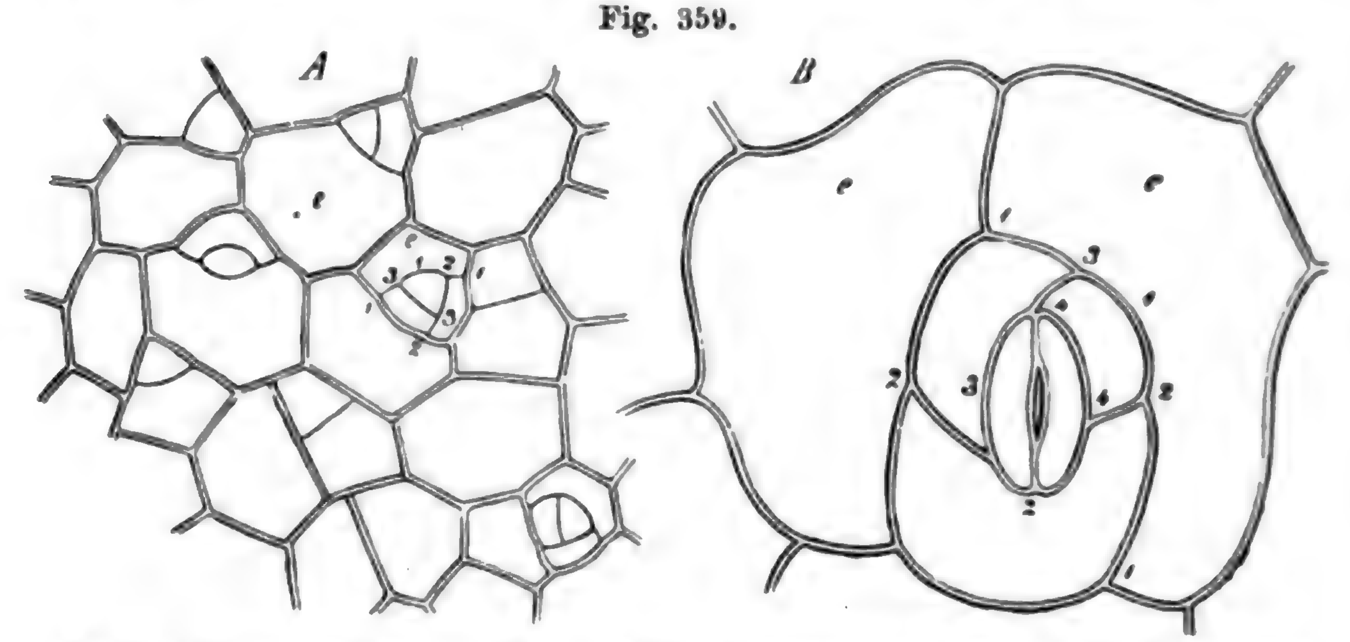


Fig. 359. Flächenschnitt aus dem Blatte von Sedum purpurascens. *A* junger, *B* fast erwachsener Zustand, *e* Oberhautzellen, 1, 2, 3, 4 die auf einander folgenden Theilungszustände (nach Sachs).

Fig. 360.

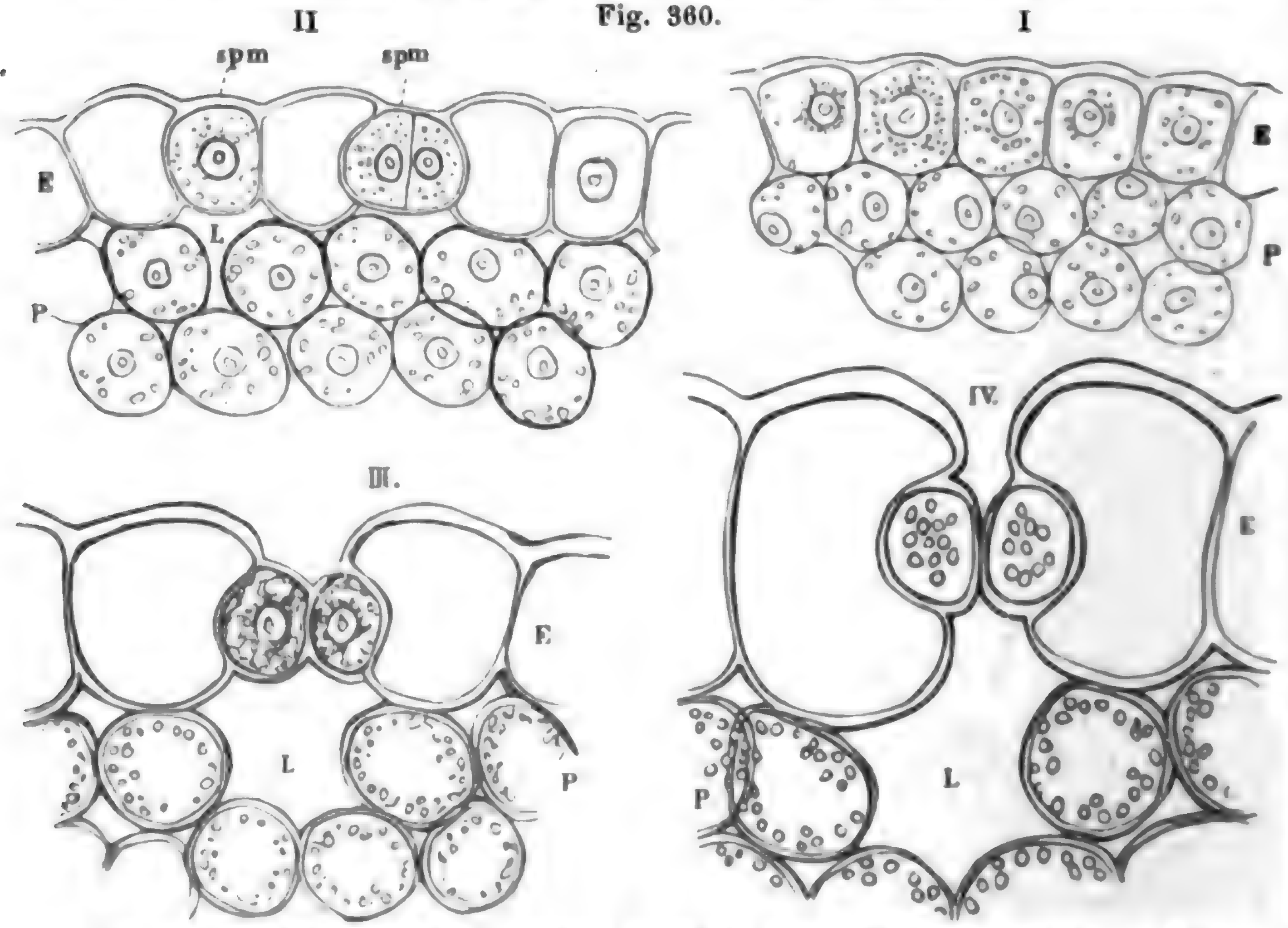


Fig. 360. Querschnitt durch die Unterseite des Blattes von Arthropodium cirrhatum. I. Ganz junge Blattanlage. — II. Aelteres Blättchen, in welchem die Mutterzellen der Spaltöffnungszellen *spm* schon differenzirt und theilweise in Theilung begriffen waren. — III. Aelterer Zustand mit beginnender Einsenkung der Spaltöffnung. — IV. Fertige Spaltöffnung. Vergr. 1 : 370.

Digitized by Google

reichende Präparate. Dagegen reichen diese keineswegs aus, um alle Fragen, namentlich auch die zu erledigen, ob die Spaltöffnungszellen aus Zellen der Oberhaut, oder aus der unter dieser liegenden Parenchymschicht angehörigen Zellen hervorgehen. Hierzu bedarf es reiner, nicht gequetschter, wenn auch nicht gerade äusserst feiner Querschnitte durch die oben genannten, zwischen Hollunder- oder Sonnenblumenmark geklemmten Pflanzentheile, deren Anfertigung allerdings nicht geringe Schwierigkeiten bietet. Ein äusserst scharfes Messer mit dünner, hohl geschliffener Klinge, sowie rasche aber sichere Führung des Schnittes lassen indessen sicher zum Ziele gelangen. Wenigstens wird man unter einer grösseren Anzahl immer einzelne Schnitte oder kleinere oder grössere Partien eines oder des anderen Schnittes finden, welche die erforderlichen Eigenschaften besitzen. Ohne grosse Schwierigkeit wird man sich an solchen gelungenen Schnitten überzeugen, wie die beiden Porenzellen aus einer einzigen, fast viereckigen bis rundlichen, in der Epidermis gelegenen Zelle durch Theilung hervorgehen und wie die Lücke der Oberhaut bei den vertieft gelegenen Spaltöffnungen einer Senkung der Schliesszellen, beziehentlich dieser und der Nebenzellen (Cycus, Coniferen u. a.) oder einer Erhebung entweder der ganzen Oberhautzellen oder ihres oberen Theiles über die letzteren ihr Entstehen verdankt (Fig. 360, I bis IV).

Strassburger: In Pringsh. Jahrb. V. 1866.
De Bary: Vergleichende Anatomie der Vegetationsorgane der Phanerogamen und Farne, 1877.
Tschirch: Angewandte Pflanzenanatomie, 1889.
In beiden letzteren die ausführlicheren Literaturangaben.

2. Entstehung des Korkgewebes.

Das Korkgewebe entsteht normal stets später als alle übrigen Gewebe der perennirenden Pflanzen. Es tritt ausserdem bei die äusseren Theile der höheren Gewächse treffenden Verletzungen auf, um dieselben nach aussen hin gegen die Wirkungen der atmosphärischen Einflüsse abzuschliessen.

Vermöge der Zeitfolge seiner Entstehung geht das Korkgewebe nicht wie die anderen Gewebe unmittelbar aus dem Urgewebe hervor. Es verdankt seine Entstehung vielmehr einer Neubildung in schon umgebildeten Parenchymzellen. Die Zellen, welche zu nachgebildeten Bildungszellen für das Korkgewebe, d. h. zu den das Korkbildungsgewebe („phellogenes Meristem") bildenden Korkmutterzellen werden, können entweder Zellen der Oberhaut, zunächst oder tiefer unter der Oberhaut gelegene Zellen der äusseren Rindenschicht: Collenchymzellen, Zellen der inneren Rindenschicht: Rindenparenchymzellen, oder endlich parenchymatische Zellen des Basttheiles der Gefässbündel: Bastparenchymzellen, sein.

Digitized by Google

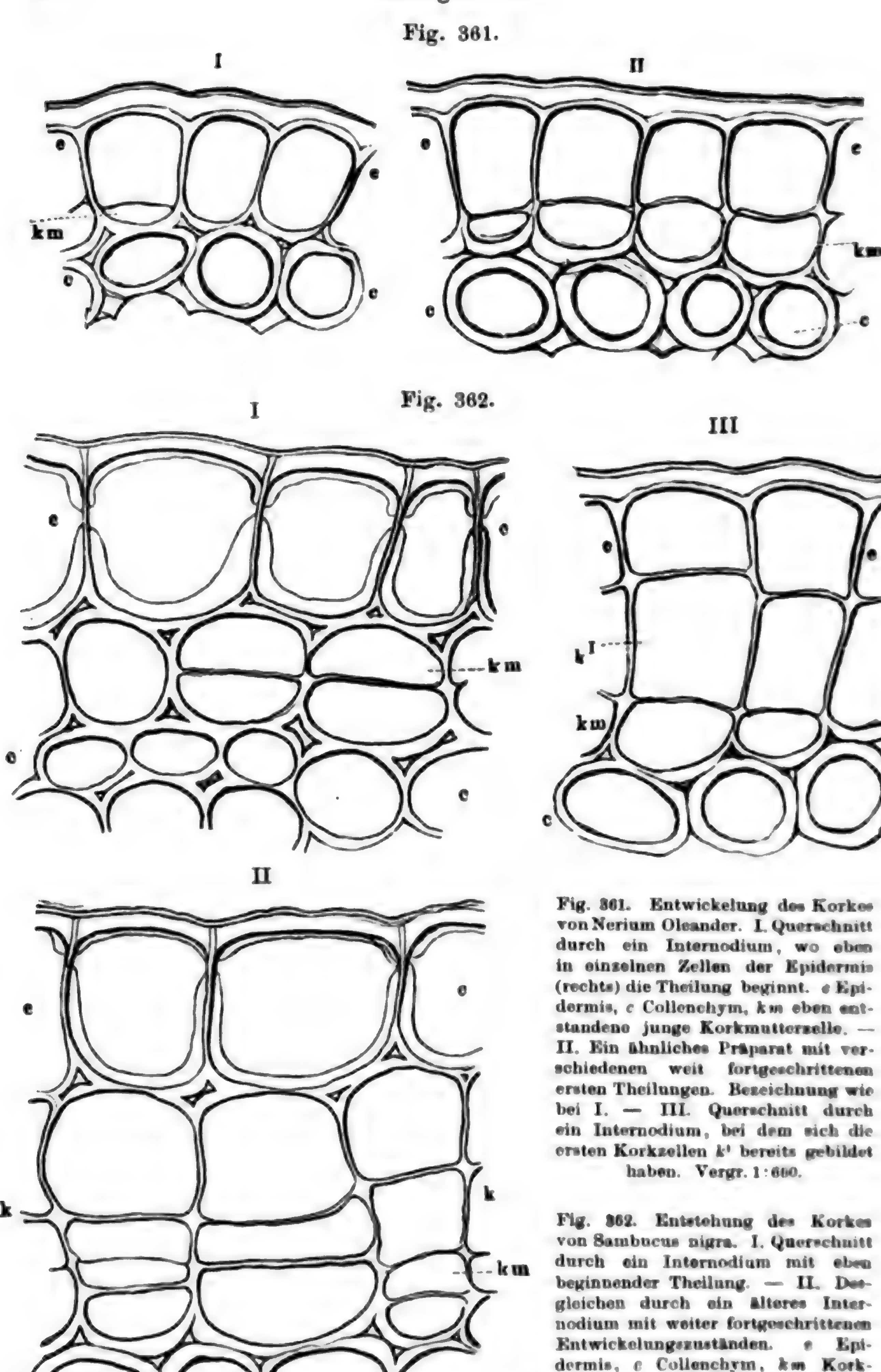


Fig. 361. Entwickelung des Korkes von Nerium Oleander. I. Querschnitt durch ein Internodium, wo eben in einzelnen Zellen der Epidermis (rechts) die Theilung beginnt. *e* Epidermis, *c* Collenchym, *km* eben entstandene junge Korkmutterzelle. — II. Ein ähnliches Präparat mit verschiedenen weit fortgeschrittenen ersten Theilungen. Bezeichnung wie bei I. — III. Querschnitt durch ein Internodium, bei dem sich die ersten Korkzellen k^I bereits gebildet haben. Vergr. 1 : 600.

Fig. 362. Entstehung des Korkes von Sambucus nigra. I. Querschnitt durch ein Internodium mit eben beginnender Theilung. — II. Desgleichen durch ein älteres Internodium mit weiter fortgeschrittenen Entwickelungszuständen. *e* Epidermis, *c* Collenchym, *km* Korkmutterzellen, *k* Korkzellen. Vergr. 1 : 420.

Digitized by Google

Fig. 363.

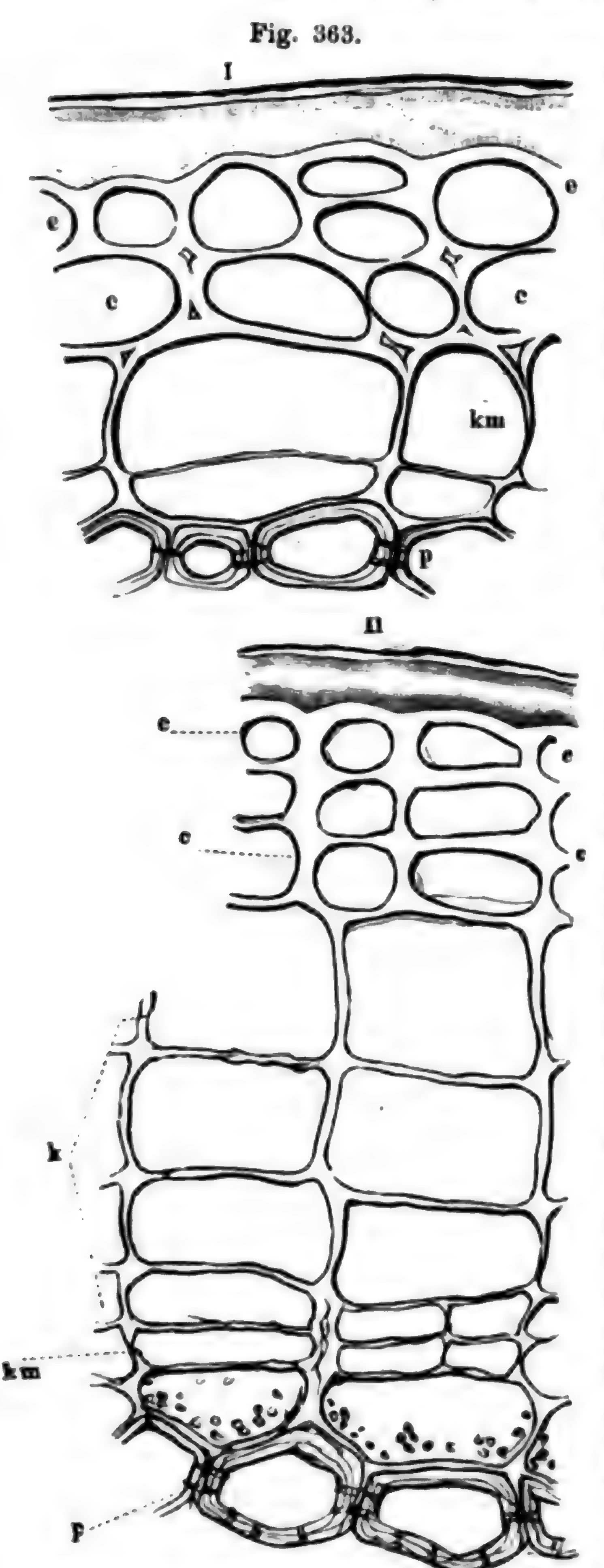


Fig. 363. I. und II. Verschiedene Entwickelungszustände des Korkgewebes von Urostigma elasticum. *e* Epidermis, *c* Collenchymzellenreihen, *km* Korkmutterzellen, in denen bei Fig. II links eine Theilung auch in radialer Richtung auftritt, *k* Korkzellen, *p* verholzte Rindenparenchymzellen. Vergr. 1 : 660.

Bei den Untersuchungen über die Entwickelung des Korkgewebes, welche man an jungen End- oder Seitentrieben in der Art verfolgt, dass man von den jüngsten Internodien aus allmälig zu den nächst älteren fortschreitend zarte, durch kurzes Verweilen in einem Tropfen der schon mehrfach erwähnten Aufhellungsflüssigkeiten aufgehellte Querschnitte der Beobachtung unterwirft, wird man gerade auf diese Verhältnisse sein Augenmerk zu richten haben.

Als Pflanzen, bei denen der Kork sich in den Zellen der Oberhaut entwickelt, sind u. a. Nerium Oleander (Fig. 361), Pirus malus, Sorbus aucuparia, Viburnum Lantana zu nennen. Es theilt sich hier die Oberhautzelle in zwei Tochterzellen, von denen die obere in der Primärwand und den Verdickungsschichten verkorkt, während die untere zur neuen Korkmutterzelle wird. In gleicher Weise, d. h. in centripetaler Folge gehen die weiteren Theilungen vor sich, so dass immer die obere Zelle verkorkt, die untere aber als Mutterzelle jüngerer Korkgenerationen auftritt (Fig. 361, III).

Bei der grösseren Mehrzahl unserer Holzgewächse, z. B. Acer, Fagus, Quercus, Betula, Ulmus, Prunus, Aesculus, Sambucus, den Pelargonien u. s. w., werden die

Digitized by Google

zunächst unter der Oberhaut gelegenen Collenchymzellen zu Mutterzellen des Korkes (Fig. 362). Hier, wie auch bei der ersteren Entstehungsweise (z. B. Sorbus Aucuparia) finden sich in Bezug auf den Gang der Verkorkung, sowie der einander folgenden Zelltheilungen mehrfache Abänderungen, auf welche ich hier indessen nicht näher eingehen kann und über welche man im Vergleiche mit der beigegebenen Entwickelungsgeschichte von Sambucus nigra (Fig. 362), wo bei der zweiten Theilung die innere Tochterzelle zur ältesten Korkrindenzelle („Phellodermzelle"), die äussere zur Korkmutterzelle wird, also die Neubildung in für sich allein wohl nur selten vorkommender centrifugaler Richtung erfolgt und dann die Folge wieder eine umgekehrte werden kann, so dass die sogenannte reciproke Entwickelung

Fig. 364.

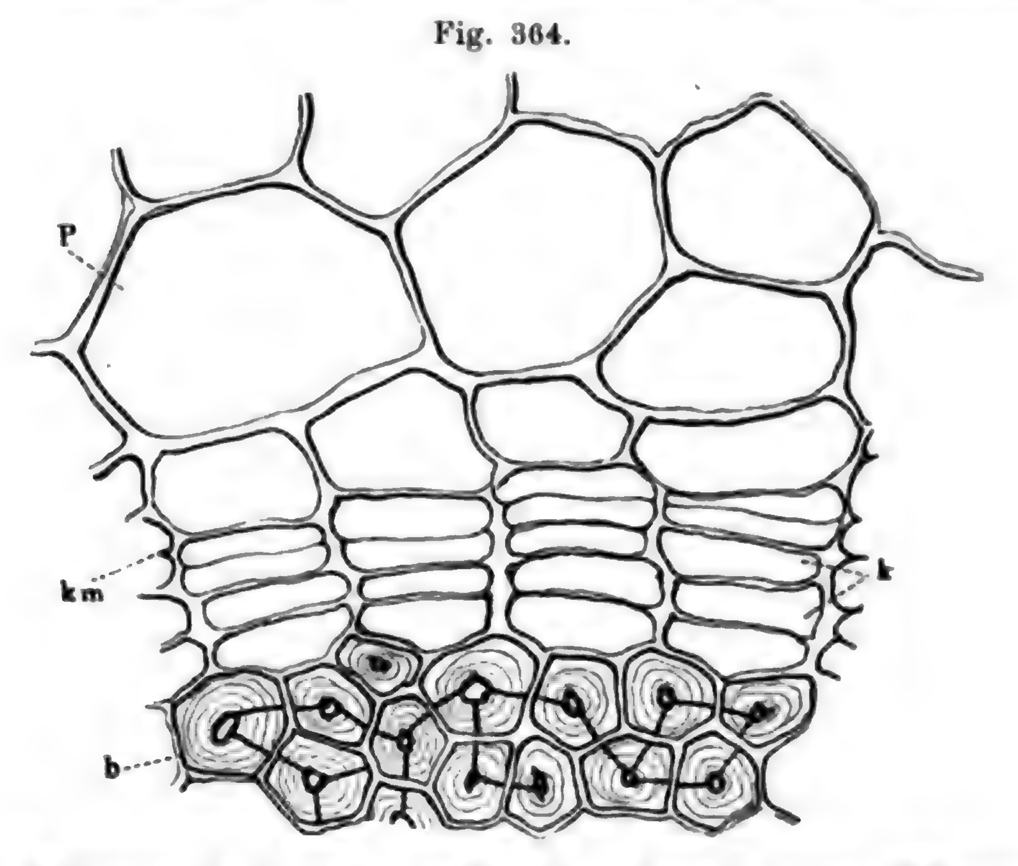


Fig. 364. Entwickelung des Korkes in dem Stengel von Rubus fruticosus. *P* Parenchym der Innenwand, *km* Korkmutterzellen, *k* junge Korkzellen, *b* Bastfasern. Vergr. 1 : 660.

auftritt, die unten angezogene Abhandlung von Sanio nachlesen möge. Ob hier überhaupt die dort aufgestellten Gesetze unbedingt für bestimmte Arten und Gattungen maassgebend sind, ist mir nach meinen eigenen Untersuchungen noch zweifelhaft und möchte ich nicht versäumen, die Aufmerksamkeit der Beobachter darauf hinzulenken, obwohl für das Wesen des Korkes selbst, sowie für dessen Verhalten zu den Lebensvorgängen der betreffenden Gewächse die Zellenfolge selbst sicherlich keine höhere Bedeutung besitzt.

Aus der Zahl jener Pflanzen, bei welchen das Korkgewebe tiefer unter der Oberhaut, aber noch innerhalb der äusseren Rindenschicht seinen Ursprung nimmt, eignet sich namentlich Ficus elastica, dann auch Robinia Pseud-Acacia sehr gut zur Beobachtung. Hier sind es die

Digitized by Google

Zellen der zweiten oder dritten Collenchymreihe, welche zu den Korkmutterzellen werden (Fig. 363).

Bei den Rubus- und Ribes-Arten, ebenso bei Lycium (in der Regel?) entsteht das Korkgewebe in den inneren Rindenschichten, und zwar sind es wohl meist die zunächst an den Basttheil des Gefässbündels angrenzenden und die mit ihnen in gleicher Höhe liegenden Rindenparenchymzellen, welche zu Korkmutterzellen werden (Fig. 364), so dass durch die Korkbildung das junge Rindengewebe (primäre Rinde der Autoren) ganz oder auf gewisse Strecken von dem Gefässbündelkreise abgeschlossen wird.

Fig. 365.

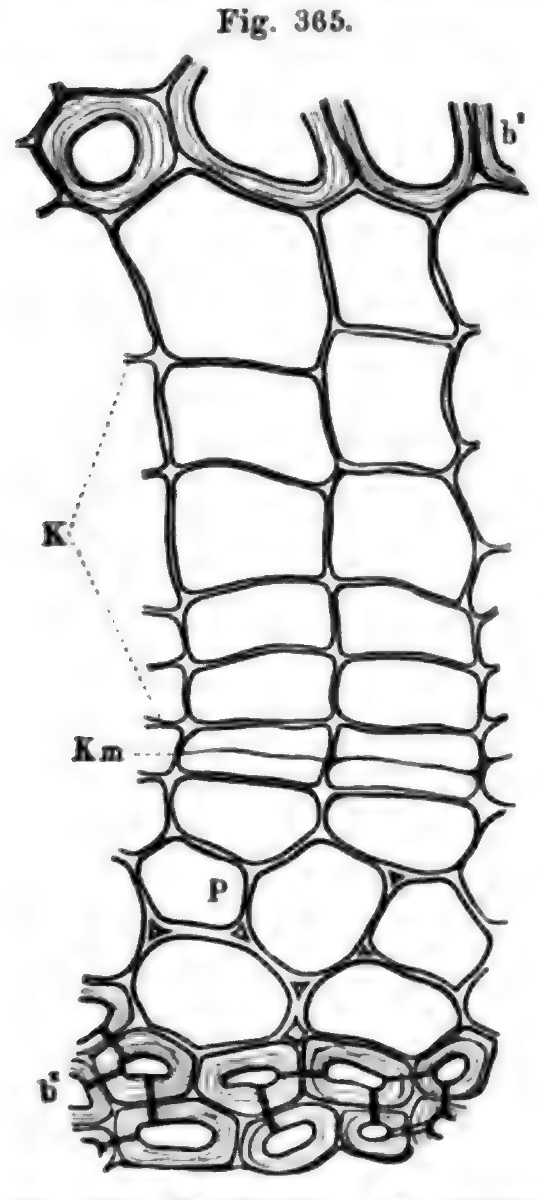


Fig. 365. Entwickelung des primären Korkes von Clematis vitalba. b^{I} Bastfasern des primären Bastbündels, b^{II} Bastfasern der secundären schmalen Bastgruppe, *P* Bastparenchym, *Km* Korkmutterzellen, *K* junge Korkzellen. Vergr. 1 : 400.

In dem Parenchym des Bastbündels oder in diesem und der Innenrinde zugleich — in manchen Fällen bei Clematis Vitalba — entwickelt sich das primäre Korkgewebe nur bei einer verhältnissmässig geringen Anzahl von Pflanzen, wie bei der genannten Waldrebe, Vitis vinifera, Lonicera u. a., bei denen durch den primären oder eigentlichen Kork im ersten Jahre die ganze Rinde sammt der ältesten Partie des Bastbündels (Fig. 365) und dann alljährlich durch secundären Kork (Borkenbildung) die nachgebildeten älteren Bastlagen des Gefässbündels abgeworfen werden.

H. v. Mohl: Untersuchungen über die Entwickelung des Korkes und der Borke. Vermischte Schriften 1846.

Hanstein: Untersuchungen über den Bau und die Entwickelung der Baumrinde, 1853.

Samo: Vergleichende Untersuchungen über den Bau und die Entwickelung des Korkes in Pringsh. Jahrb. II. 1862.

De Bary: a. a. O.

Tschirch: a. a. O.

II. Grundgewebe.

1. Entwickelung der Secretbehälter.

a) Schizogene Secretbehälter.

Die innerhalb der Grundgewebe vorkommenden Secretbehälter, welche bereits S. 306 u. f. und S. 311 berührt wurden, sind, wie wir dort gesehen haben, theils schizogenen, theils lysigenen Ursprungs.

Digitized by Google

Da die Entstehung und weitere Ausbildung aller Arten von solchen Canälen bis auf das Wesentliche der Vorgänge nicht treffende, bei derselben wie bei verschiedenen Gattungen und Arten auftretende Abweichungen mit einander übereinstimmen, so mag es genügen, als

Fig. 366.

I. II. III. IV.

Fig. 366. I bis III. Querschnitte durch die sich streckende Knospe eines Endtriebes von Picea vulgaris. I. Mutterzelle des Auskleidungsgewebes. II. erster, III und IV zweiter Theilungszustand.

Beispiel die zum genaueren Studium der dabei vorkommenden Zelltheilungen an dünnen Schnitten von Alkoholmaterial, zur Beobachtung der Harzbildung an dickeren Schnitten frischen Materiales auszuführende Beobachtung der Entwickelung der Harzgänge in der Rinde unserer Fichte (Picea vulgaris), welcher sich in der Praxis diejenige der ähn-

Digitized by Google

lichen Behälter in dem Holze der Kiefer (Pinus sylvestris) anschliessen kann, etwas weiter auszuführen.

Nimmt man am Beginn der Vegetationsperiode, der sich eben zu strecken beginnenden, noch von den Deckschuppen umhüllten Endknospen des Stammes oder eines Astes, und zwar von der Spitze aus nach abwärts auf einander folgende zarte Querschnitte, so wird man folgende Thatsachen beobachten. Nahe unter dem Vegetationskegel stellt das Bildungsgewebe einen völlig gleichförmigen, aus dicht an einander schliessenden Zellen bestehenden Zellkörper dar, in dem man auch auf dem Längsschnitt noch keinen Unterschied in der Längenerstreckung der Zellen wahrnimmt. Auf etwas tiefer geführten Querschnitten bilden den Ausgangspunkt der Entwickelung der Harzgänge einige, und — in selteneren Fällen mehrere — innerhalb des Rindenbildungsgewebes in Kreise gestellte, sich von den umgebenden, theilweise noch in Theilung befindlichen, wie die Jodreaction zeigt, bereits kleine Stärkekörnchen enthaltenden Zellen durch grössere Ausmaasse, dichteres Protoplasma und grösseren Zellkern unterscheidende Mutterzellen (Fig. 366, I). In der Muterzelle erfolgt schon bald die erste Theilung in tangentialer Richtung (Fig. 366, II) und dieser die auf letzterer Richtung senkrechte, zweite Theilung der beiden oder auch nur einer der Tochterzellen, so dass nun eine Gruppe von etwa vier gleich grossen, kreuzweise gestellten, später etwas gegen einander verschobene innere Wände zeigenden (Fig. 366, III) oder von drei ungleich grossen — einer grösseren und zwei kleineren — im optischen Durchschnitt tetraëdrisch geordneten Zellen (Fig. 366, IV) auftritt. In selteneren Fällen entstehen nach Mayr (Bot. Centralbl., Bd. XX, S. 88) in der Mutterzelle mittelst zweier — doch wohl auf einander folgenden — parallelen Wände zunächst drei — eine primäre und zwei secundäre — Tochterzellen, von denen die mittlere durch eine hierauf senkrechte Wand in zwei zerfällt. Diesen ersten Theilungen folgen auf etwas tiefer geführten Schnitten durch zu den gemeinschaftlichen ersten Theilungswänden etwas geneigte, nach dem Inneren der Gruppe gewendete (radiale) Wände weitere, sich auf alle oder nur einen Theil der vorher entstandenen Tochterzellen erstreckende, so dass nun eine Gruppe von acht beziehentlich sechs und fünf Zellen entsteht (Fig. 367, I). Während jetzt die diese Zellengruppe begrenzenden stärkeführenden Parenchymzellen in tangentialer Richtung gedehnt und etwas abgeflacht werden und das Protoplasma der Zellen des werdenden Auskleidungsgewebes (Epithel) der Harzgänge eine homogene Beschaffenheit annimmt, erweitert sich inmitten dieser Zellengruppen allmälig der schon nach der zweiten Theilung auftretende enge Intercellulargang zu dem mit einer schwach gelblichen, offenbar ein Terpen darstellenden Flüssigkeit erfüllter junger Harzgang (Fig. 367, I u. II). Die Zellen des Auskleidungsgewebes sind dabei zartwandig geblieben, während die durch Theilung aus Rindenparenchym entstandenen, etwas zusammengedrückten, die

Digitized by Google

ersteren umgebenden Zellen derbwandiger als jene erscheinen. Letztere enthalten jetzt einen etwas grobkörnigeren Inhalt (Fig. 367, I u. II, *P* u. *Hp*), der sich durch seine Reaction gegen Jod theilweise als Stärke erweist. Auf an dem sich entwickelnden Zweige weiter nach abwärts geführten Längsschnitte erkennt man, dass die Randzellen, d. h. die Stärke führenden Zellen, wie die Zellen des Auskleidungsgewebes, welche schwach, und zwar einfach porös verdickt erscheinen, erstere sämmtlich stärker, letztere verschiedentlich, bald mehr, bald weniger in die Länge gestreckt erscheinen, wodurch sie sich, obwohl der Längenunterschied noch nicht sehr bedeutend ist, auf das Bestimmteste von dem umgebenden Rindengewebe unterscheiden (Fig. 368, II). Etwas tiefer geführte Schnitte lassen etwa gleiche Ansichten gewinnen, nur haben

Fig. 367.

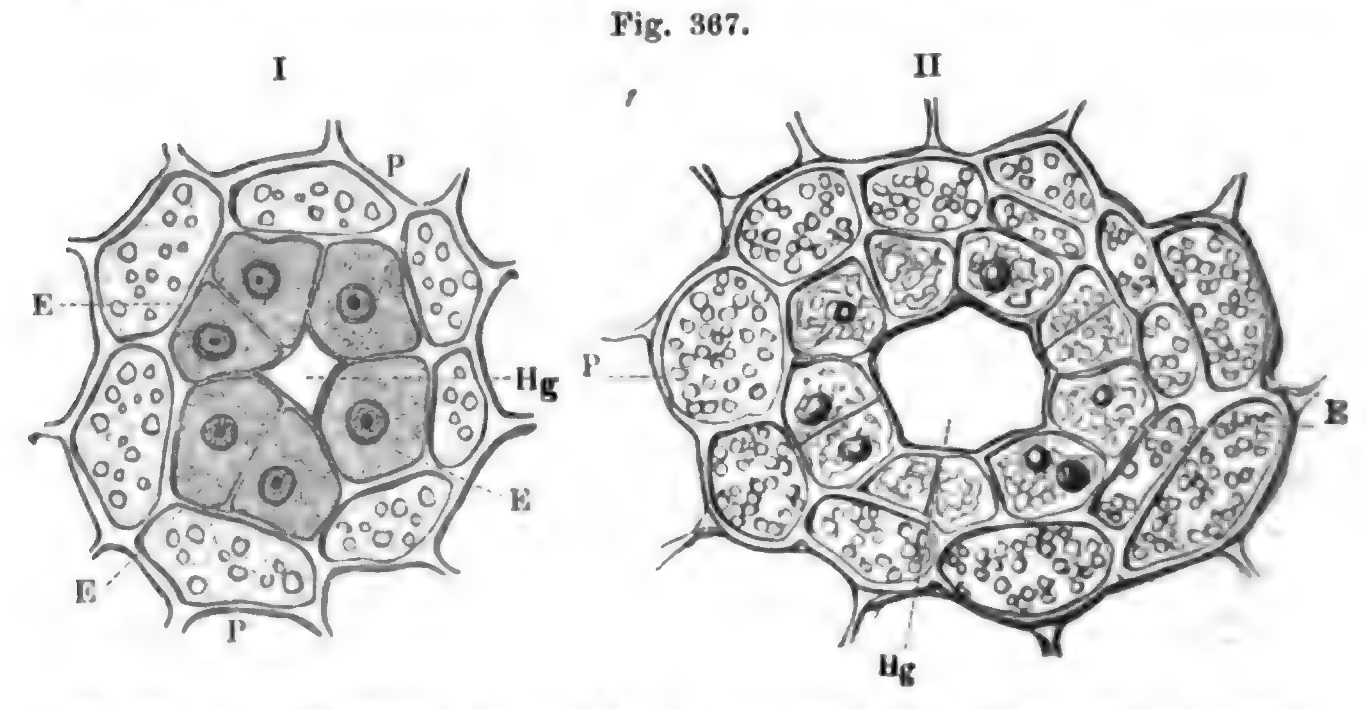


Fig. 367. I. Querschnitt durch einen in der Entwickelung begriffenen Endtrieb von Picea vulgaris, in dessen Rinde sich die kleine, Stärkekörner führende, in Theilung begriffene Zellengruppe *E* des werdenden Harzganges *Hg* von den übrigen chlorophyllführenden Rindenzellen *P* gesondert hat. Vergr. 1 : 800. — II. Junger weiter Harzgang, dessen harzbildende Zellen *E* nur eine Schicht bilden und neben feinkörniger Stärke kleine Tropfen flüchtigen Oeles führen. Vergr. 1 : 900.

sich beide Zellenformen mehr gestreckt, während in dem inneren Zellenhohlcylinder, der ein- oder bei nachfolgender Zelltheilung in tangentialer Richtung mehrschichtig sein kann, die Theilung der Zellen vollendet und der Intercellulargang mehr erweitert und rundlich geworden ist (Fig. 368, I). Stetig nach abwärts geführte Längsschnitte belehren dann über die bis zum Abschluss des Längenwachsthums des Jahrestriebes fortdauernde Verlängerung der Rand- und Auskleidungszellen, sowie deren durch das Dickenwachsthum von Holz und Bast bewirkte tangentiale Drehung des der Beobachtung unterliegenden, mehr und mehr in die elliptische Form übergehenden Ganges.

Durch Wucherung des Auskleidungsgewebes kann in vereinzelten Fällen der Harzgang vollständig durch ein zartwandiges Parenchym ausgefüllt werden (Fig. 369).

Digitized by Google

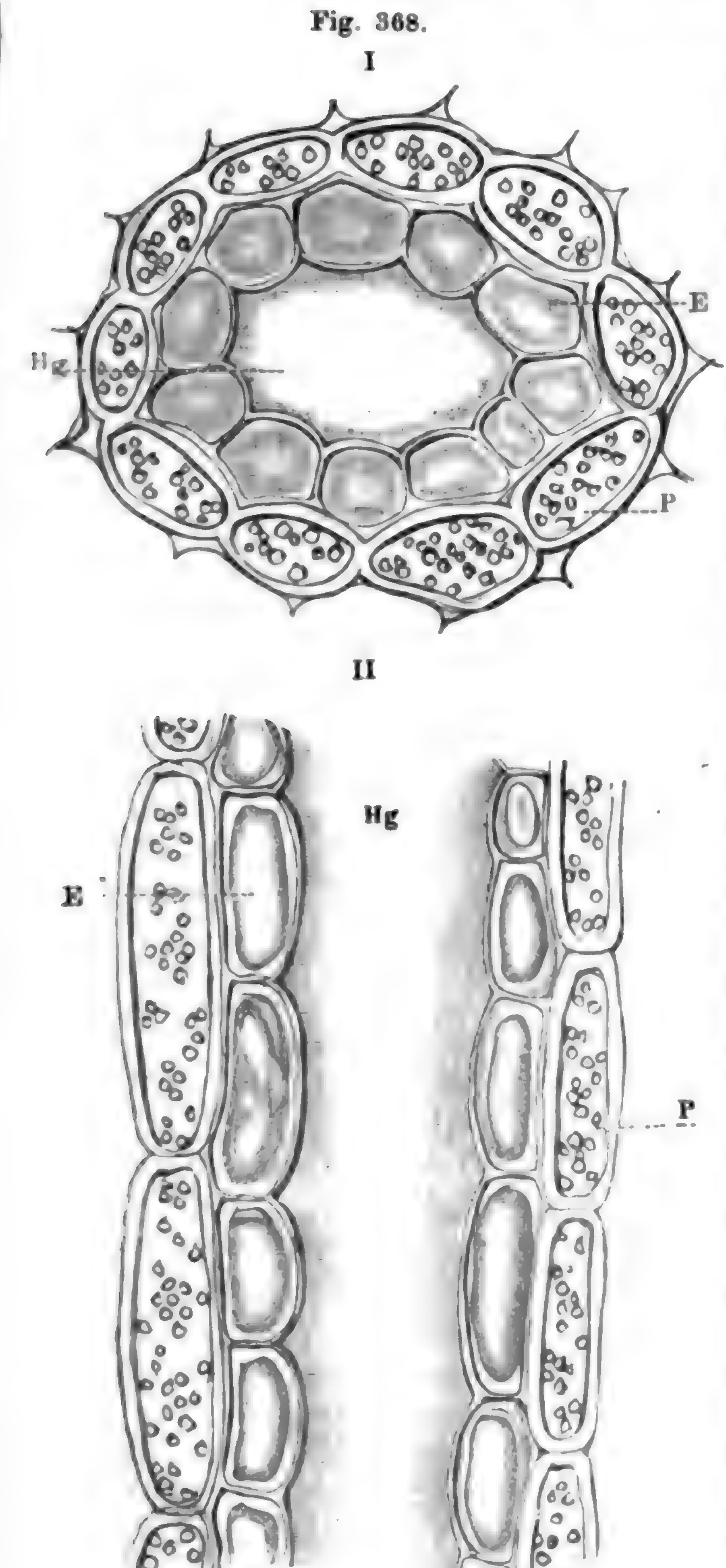


Fig. 368. I Querschnitt durch einen fertigen Harzgang, dessen Innenraum *Hg* gleich den zartwandigen Zellen *E* mit halbflüssigem Harz erfüllt ist, während die derbwandigen, zusammengedrückten Rindenzellen *P* noch geringe Mengen von Stärke führen. Vergr. 1 : 800. — II Längsschnitt durch einen fertigen Harzgang. Bezeichnung wie in I. Vergr. 1 : 800.

In dem Baue der soweit ausgebildeten Harzgänge tritt nun während der ganzen Wachsthumsperiode keine Aenderung ein und es stimmt derselbe auf dieser Stufe im Allgemeinen mit jenem der in gleicher Weise entstandenen, d. h. schizogenen Harz-, Oel- und Gummigänge in der Rinde der Cycadeen und anderer Pflanzen fast vollkommen überein.

Hinsichtlich des Inhaltes machen sich nun gleichfalls Veränderungen bemerklich. Der Canal — wie die ihn auskleidenden zartwandigen Zellen — wird entweder nur an seinen Wänden oder durch sein ganzes Innere von einer flüssigen Balsamschicht ausgekleidet, in der sich einzelne grössere Körner bemerklich machen. Die Zellen des umgrenzenden Rindenparenchyms sind neben dem übrigen feinkörnigen Inhalte mit einer geringen Menge von Stärkemehl erfüllt, die sich nach der Behandlung mit Jod sofort auf das Klarste durch ihre Färbung kenntlich machen (Fig. 368 I u. II). Auch in dem übrigen umgebenden Rindenparenchym tritt neben dem etwas verminderten Chlorophyll Stärkemehl auf.

Gegen Ende der Vegetationsperiode füllen sich

Digitized by Google

sowohl die den Harzgang umgebenden eine bis zwei Reihen der derbwandigen gestreckten Zellen, als auch das nächst umgebende Rindenparenchym dichter und dichter mit Stärkemehl an, bis sie im Herbste damit vollständig vollgepfropft erscheinen. Der Harzgang selbst zeigt um diese Zeit noch durchaus keine merkliche Vermehrung seines Inhaltes. Erst beim Beginne der nächsten Vegetationsperiode erscheint er dichter und dichter mit Terpen erfüllt und in gleichem Maasse das Stärkemehl verschwunden. Auch die Randzellen führen Tropfen flüssigen Terpens, bis dieses allmälig gegen den Herbst durch Hinübertreten in den Harzgang wieder verschwindet und neuen Mengen von Stärkemehl Platz macht *).

Fig. 369.

Fig. 369. Aelterer Harzgang. Die das Harz erzeugende, den engen Intercellularraum umgebende, theilweise zweischichtige Zellengruppe, deren Auflösung im Inneren bereits beginnt, ist mit einer stark lichtbrechenden Flüssigkeit (Terpentin) erfüllt, während die umgebenden Zellen Stärke enthalten. Vergr. 1 : 800.

Haupterforderniss bei diesen Untersuchungen, wozu die oben genannte Pflanze, dann die verschiedenen Arten Kiefern ein einem Jeden zugängliches Material bieten, ist, dass man in den Knospen, wie bei dem eben sich kräftig streckenden Triebe mit möglichst zarten unverletzten Querschnitten, die ein sehr scharfes Messer und eine öftere Behandlung desselben auf dem Streichriemen verlangen, ganz allmälig von der Spitze nach unten fortschreitet. Nur auf diese Weise kann man sich mit hinreichender Sicherheit von der Differenzirung der Mutterzelle und der allmäligen Ausbildung des Gewebecylinders überzeugen, der den Intercellulargang umgiebt. Das Auftreten und die Vertheilung der Terpene in den secernirenden Zellen lässt sich durch die auf Seite 107 erwähnten Färbungen nachweisen; insbesondere dürfte sich die Behandlung halbirter Knospen und sich entwickelnder Triebe mittelst Kupferacetats empfehlen.

*) Ich muss auch nach meinen neueren Beobachtungen in Uebereinstimmung mit N. Müller daran festhalten, dass das Terpen in den den Harzgang umgebenden Zellen gebildet und von da aus in diesen ausgeschieden wird.

Digitized by Google

b) Lysigene Secretbehälter.

Die vorzugsweise in dem Grundgewebe der Blätter auftretenden lysigenen Secretbehälter, welche regelmässige oder unregelmässige Hohlräume darstellen und von in Umwandlung der Zellwände begriffenem Gewebe ausgekleidet werden, entstehen hier wohl meist u. a. bei den Rutaceen, Diosmeen, Xanthoxyleen, Aurantiaceen aus vorgebildeten, von den Zellen des übrigen Gewebes abweichenden Zellgruppen und bilden kugelförmige oder rund-ovale, mit Oel, Harz u. s. w. erfüllte Räume. Wie Rauter angegeben hat, bilden bei Dictamnus Fraxinella den Ausgangspunkt der Entwickelung eine Oberhaut und eine darunter liegende

Fig. 370.

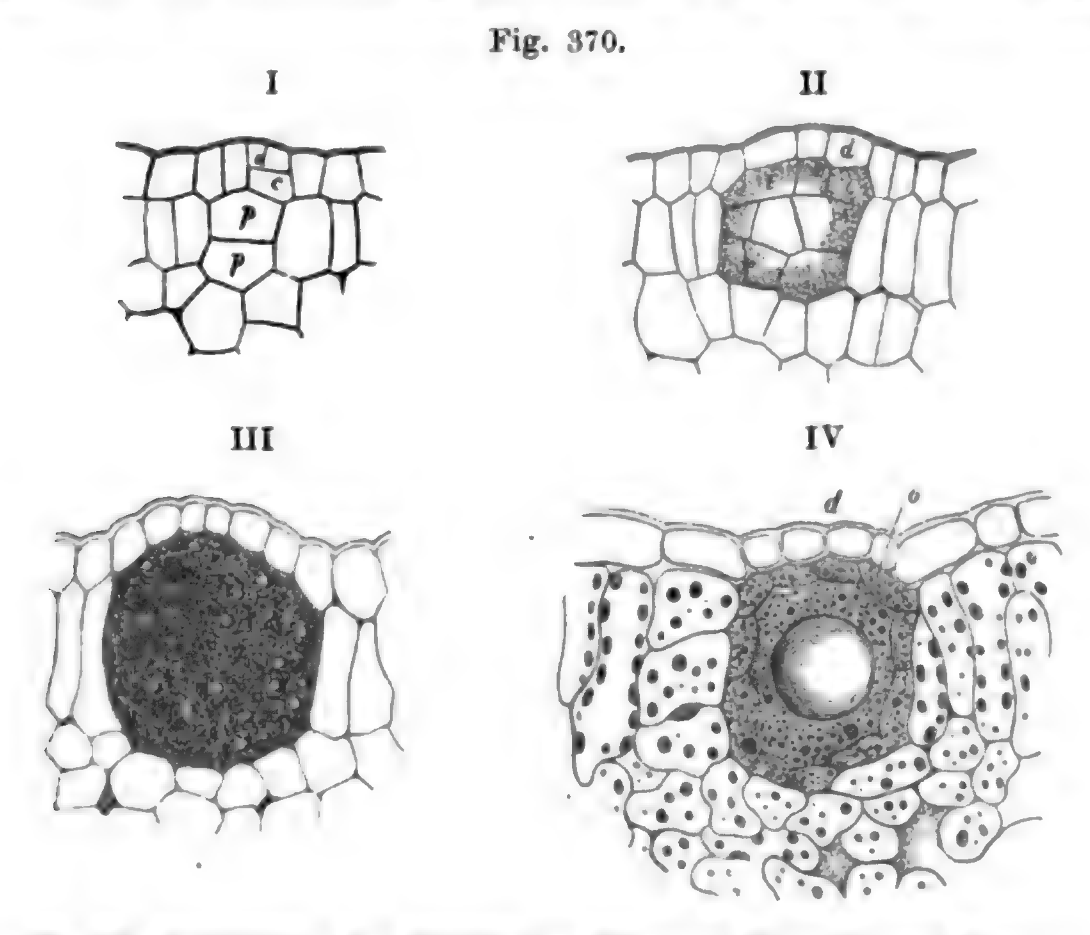


Fig. 370. Entwicklung einer Oeldrüse von Dictamnus Fraxinella nach Rauter.

Parenchymzelle. Erstere theilt sich successive in vier in der Fläche kreuzweis gestellte Zellen, von denen jede weiter in eine oberflächliche (Fig. 370 I *d*) und eine an das Parenchym grenzende (Fig. 370 I *c*). Die oberflächlichen vermehren sich zur Bildung des die Lücke abschliessenden Oberhautstückes, die inneren nehmen an der Bildung der Lücke theil, während die Hauptmasse der letzteren aus den Theilungsproducten der primären Parenchymzelle (Fig. 370 I *pp*), welche durch wechselnde horizontale und verticale Theilungen (Fig. 370 II) in zahlreiche Tochterzellen zerfällt, die mit dèn ihnen gleichgestellten Nachkommen der inneren Oberhautzelle einen lückenlosen viel- und kleinzelligen, kugeligen Körper bilden. Nachdem derselbe seine volle Grösse erreicht hat, treten in dem Protoplasma seiner Zellen allmälig zahlreiche Tropfen

Digitized by Google

flüchtigen Oeles auf (Fig. 370 III), dann werden die zarten Zellwände von innen her aufgelöst und es fliessen die Oeltröpfchen zu einem grossen Tropfen zusammen (Fig. 370 IV *o*).

In ähnlicher Weise sollen nach Chatin (Études histologiques et histogeniques etc. und Ann. d. sc. nat. 1875, Sér. VI, 2, p. 199), Tschirch (Angewandte Pflanzenanatomie I, S. 511) u. a. die Oelgänge in den Blättern und der Fruchtschale von Citrus, in den Buku- und Jaborandiblättern etc. entstehen.

Wiegand: Desorganisation der Pflanzenzelle in Pringsh. Jahrb. III. 1862.

Dippel: Das Mikroskop und seine Anwendung, Bd. II, S. 150. 1869.

N. J. C. Müller: Untersuchungen über die Vertheilung der Harze u. s. w. in Pringsh. Jahrb. V. 1866.

Frank: Beiträge zur Pflanzenphysiologie, 1868.

Rauter: Entwickelung einiger Tridamgebilde, 1871. Separatdruck aus den Abhandl. der Wiener Akademie.

Mayr: Entstehung und Vertheilung der Secretionsbehälter der Fichte und Lerche, im Bot. Centralblatt, XX. 1884.

De Bary: a. a. O.

Tschirch: a. a. O.

Hier auch die weitere Literatur.

III. Gefässbündel.

Um die Entstehung der verschiedenen Elemente des Gefässbündels zunächst aus dem Strangbildungsgewebe, d. h. aus den durch das engere Lumen, in der Achse des Stengels gestreckte Gestalt und die Theilung in der Längsrichtung ihrer Zellen von den umgebenden Gewebetheilen sich auszeichnenden Cambiumsträngen (Procambium, Sachs, Initialstränge, De Bary) zu verfolgen und uns dann weiter den Fortschritt des Verdickungs- und Verholzungsprocesses, namentlich der im Holztheile vorkommenden Faser- und Röhrenzellen zu verfolgen, muss man in der Entwickelung befindliche Pflanzen von dem Vegetationskegel an abwärts mittelst zarter Quer- und Längsschnitte in unverändertem Zustande, wie nach Anwendung der Zellstoffreagentien und der aus dem Früheren bekannten Färbungsmethoden untersuchen.

1. Geschlossene Gefässbündel.

A. Kryptogamen.

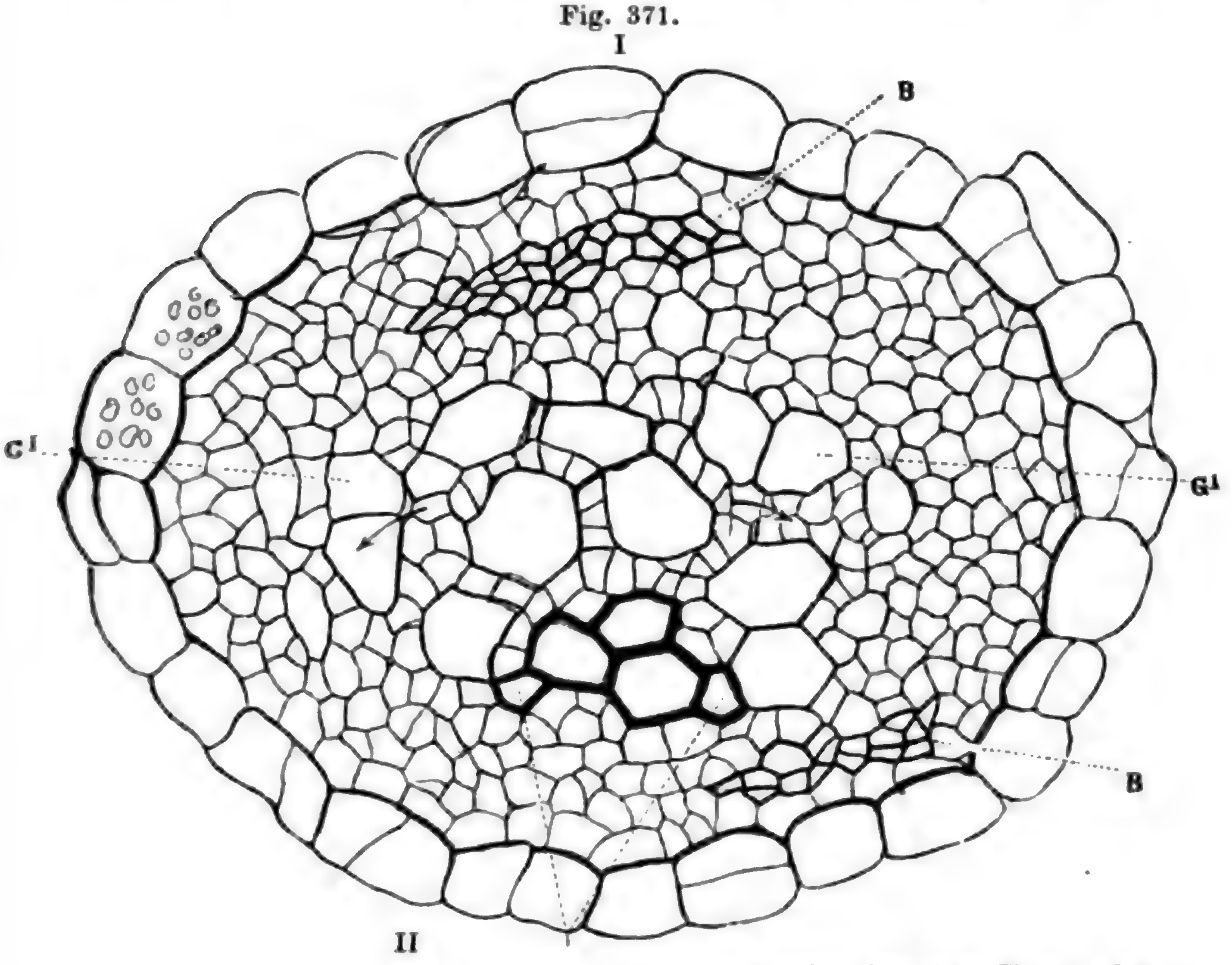
Die Eigenthümlichkeiten der Entwickelungsgeschichte des kryptogamen Gefässbündels, welche dessen Bau im ausgebildeten Zustande bedingen, lassen sich unter den leichter zugänglichen, hierher gehörigen Gewächsen am einfachsten bei den Farnkräutern studiren.

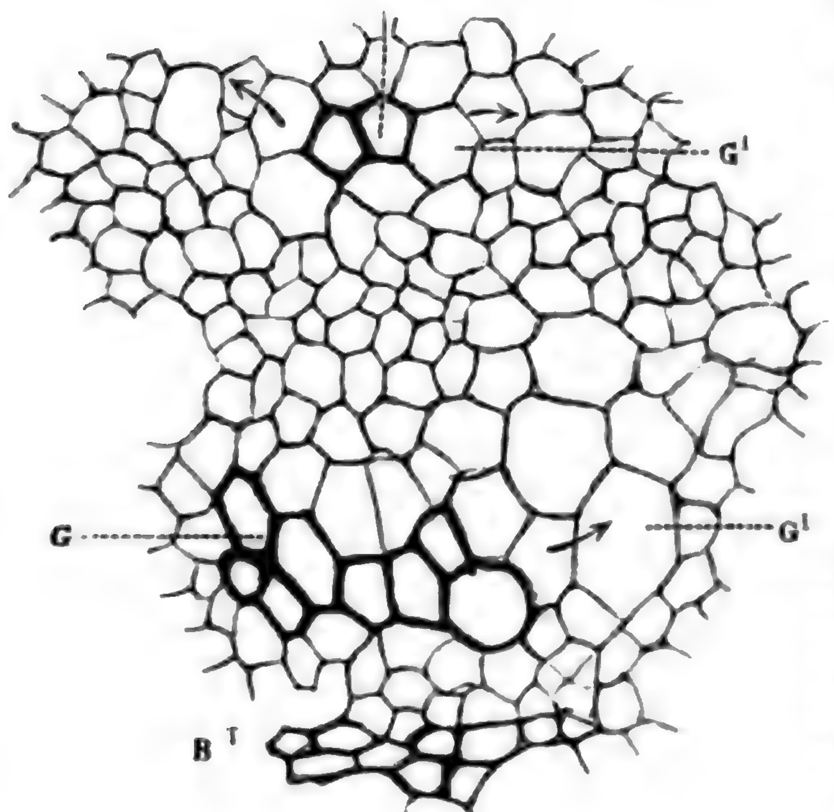
Bei den Farnkräutern erfolgt die Heranbildung der Elementarorgane des Gefässbündels in den aus dem Urparenchym des Vegetations-

Digitized by Google

kegels hervorgehenden Cambiumsträngen in der Regel von einem oder zwei Punkten aus und schreitet von hier aus in verschiedener Weise fort, was nicht sowohl in verschiedenen Arten und Gattungen, als vielmehr in der Form der sich entwickelnden Gefässbündel seinen Grund hat.

Fig. 371.





Bei Aspidium filix mas u. a. z. B., bei denen die Form der Gefässbündel eine nahezu kreisförmige oder schwach länglichrunde ist, beginnt die Entwickelung meistens von einem, seltener von zwei

Fig. 371. I und II Querschnitt durch kurze Zeit angelegte Gefässbündel von Aspidium filix mas, $G\,G$ älteste bereits verholzte Spiralgefässzellen, $G^1\,G^1$ in der Ausbildung begriffene Gefässzellen, B und B^{II} junge Bastelemente. In I geht die Entwickelung von einem, in II von zwei excentrischen Punkten aus. Vergr. 1 : 500.

Digitized by Google

Punkten aus. In dem Cambiumstrange scheiden sich zuerst in einem nahezu peripherischen Punkte ein und zwei enge Spiralgefässe und diesen gegenüber einige Elemente des Bastes aus. Diese beiden Anfänge des Holz- und Basttheiles nehmen dann rasch um einige schnell sich verdickende und zugleich verholzende Elemente zu, während sich um und zwischen denselben das zartwandige Gewebe in gleichem Maasse vermehrt und in dem den Cambiumstrang umgebenden Parenchym die Zelltheilung fortwährend thätig bleibt.

In weiter fortgeschrittenen Entwickelungszuständen erblickt man ein aus drei bis sieben Elementen bestehendes Bündel von verholzten Spiralgefässzellen, welches etwas gegen den Umfang des Gefässbündels gerückt erscheint (Fig. 371 I u. II *g*). Diesem gegenüber erscheint nahe dem Umfange ein Bündel von Bastelementen, dessen Zellen sich theils nach innen, theils nach den Seiten hin durch Theilung vermehren (Fig. 371 I u. II *B*), während sich häufig zu gleicher Zeit vor den Erstlingen des Holztheiles eine Theilung in einer dünnwandigen Zellengruppe, also beginnende Bastbildung, oder gar ein kleineres Bündel von fertigen Bastfasern bemerklich macht (Fig. 371 I u. II *B*). Die gedachten Erstlinge des Holztheiles erscheinen zugleich von dem gegenüberstehenden Bastbündel durch ein Gewebe getrennt, in welchem eine kleinere oder grössere Zahl von an dem grösseren Ausmaasse ihres Lumens kenntlichen, häufig durch engere Zellen (werdendes Holzparenchym) von einander getrennte jugendliche, noch unverholzte Gefässzellen auftreten (Fig. 371 I und II *G'*), während aus dem nach dem Umfange des Gefässbündels hin die weiteren Elemente des Bastes hervorgehen.

Die weitere Entwickelung kann nun einen verschiedenen Gang einschlagen, von dem das Aussehen des fertigen Gefässbündels abhängt. Entweder schreitet die Heranbildung neuer Gefässbündelemente, nachdem zwischen den ersten Holz- und Bastbündeln noch eine kleinere Masse von Gefäss- und Holzparenchymzellen entstanden ist, vorzugsweise nach einer Seite des Gefässbündels hin fort oder es erfolgt dieselbe nach zwei Seiten hin gleichmässig, wie in Fig. 371 I, so dass in dem fertigen Gefässbündel die ältesten Gefässzellen — mit ringförmiger oder spiraliger Verdickung — entweder mehr zur Seite gerückt oder mehr nach der Mitte hin zu stehen kommen. In einzelnen Fällen tritt, nachdem sich in dem älteren Holztheile eine mehr seitliche Entwickelung geltend gemacht hat, in dem bildungsfähigen Gewebe zwischen diesem und dem älteren Bastbündel ein neues Bildungscentrum auf (Fig. 371 II oben), indem darin sich einige rasch verholzende enge Spiralgefässzellen aussondern. Von hier aus geht dann die Entwickelung anfänglich nach zwei Seiten hin, bis die von den beiden Bildungsheerden aus sich heranbildenden Gefässelemente sich zu einem nach dieser Seite hin geschlossenen Ringabschnitte vereinigt haben. Alsdann hört die Entwickelungsfähigkeit des älteren Gefässbündeltheiles auf und es

Digitized by Google

schreitet nun von dem zweiten Bildungscentrum aus die Entwickelung nach der anderen Seite hin fort, bis das Gefässbündel seine Ausbildung erreicht hat.

Die letztere Entwickelungsweise findet sich bei der in Rede stehenden Pflanze indessen nur in den beiden umfangreicheren Gefässbündeln, welche an der oberen Seite des Wedelstieles stehen.

Bei Pteris aquilina, wo sich zumeist bandartig gestreckte Gefässbündel finden, geht die Entwickelung in der Regel von zwei tangential neben einander liegenden Bildungscentren aus (Fig. 372 1 u. 2), während die bei Polystichum beschriebene Entwickelungsfolge nur hier und da bei den einzelnen rundlichen oder elliptischen kleineren Bündeln vorkommt.

Fig. 372.

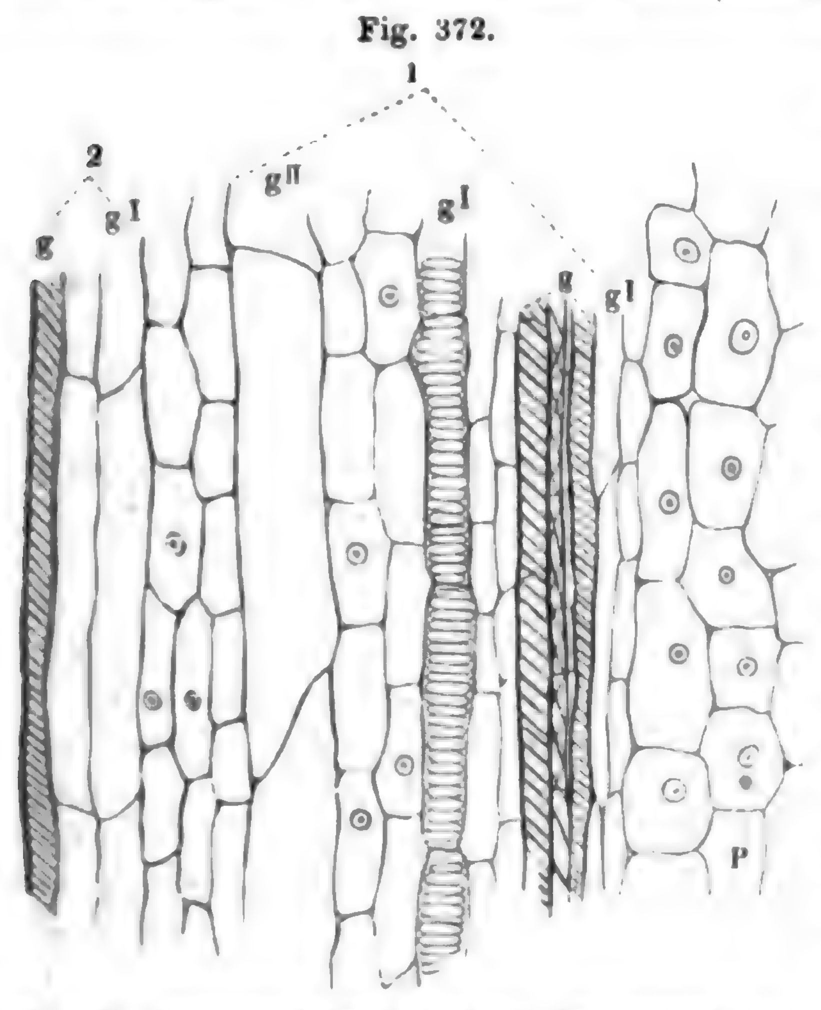


Fig. 372. Längsschnitt durch ein in der Entwickelung begriffenes Gefässbündel von Pteris aquilina. *g* Spiralgefässzellen. g^{I} und g^{II} verschieden alte poröse Gefässe, bei g^{I} sind die Porenhöfe bereits vorhanden. 1 und 2 die beiden von zwei peripherischen Punkten ausgehenden Gefässgruppen. *P* Parenchym. Vergr. 1 : 500.

Im letzteren Falle ist die Entwickelungsfolge derart, dass sich die Gefässbündelelemente zuerst von einem Mittelpunkte aus gleichmässig nach zwei Seiten hin heranbilden; später scheint die Fortbildung dagegen nach einer Seite hin beschränkt zu werden, während sie nach der anderen fortdauert. Auf diese Weise nimmt der Holztheil die Form eines Halbmondes mit ungleichen Schenkeln an, der nach der convexen Seite hin von einem gleichbreiten Bastbande umgeben wird, während an den concaven Seiten der oben beschriebene Zellengang und ein etwas massiger entwickeltes Bastgewebe auftreten, und so die rundliche Form des ganzen Gefässbündels wahren. Im anderen Falle beobachtet man ein ganz ähnliches Verhalten in Bezug auf die beiden Bildungscentren. In beiden wird die Fortbildung in der Regel nach der einen für beide Centren gleichwandigen Seite hin verlangsamt und beschränkt, während sie nach der anderen rascher vor sich geht und länger fortdauert. Hier wird aber, da die Entwickelung centripetal fortschreitet, dieser in dem einen Bündel ein Ziel gesetzt, sobald die ausgebildeten Gefässbündelelemente

Digitized by Google

auf einander treffen, während das andere häufig in seiner Thätigkeit noch eine Zeit lang unbeschränkt bleibt. So kommt es, dass die beiden Gruppen der Spiralgefässzellen in dem fertigen Bündel oft ziemlich nahe an einander gerückt erscheinen, während nach der einen Seite hin eine grosse Zahl weiter Gefässe zu beobachten ist.

B. Monokotyledonen.

Die Entstehung der monokotyledonen Gefässbündel und die allmälige Heranbildung ihrer einzelnen Elementarorgane aus den Zellen der Cambiumbündel verfolgt man entweder von dem ruhenden Samen aus, wo dieselben unterhalb der Terminalknospe schon in Form von Bündeln eines zartwandigen, gestreckten Zellgewebes (Cambium) auftreten, an sich entwickelnden Keimpflanzen, die man sich leicht selbst ziehen kann, oder an den Trieben ausdauernder, hierher gehöriger Gewächse, welche bereits im Knospenzustande der Beobachtung unterworfen werden müssen. Am besten eignen sich hierzu manche Liliengewächse und Smilaceen (Ruscus). Man wird dabei immer von der Vegetationsspitze auszugehen und mittelst zarter Quer- und Längsschnitte an der jungen Achse nach abwärts zu steigen haben. Als erstes unterscheidbares Element des sich aus dem Cambiumbündel heranbildenden Gefässbündels erscheinen einige zartwandige Bastfasern (Cribralprimanen), die sich bei passend gewählten Pflanzen schon bald durch die beginnende Wandverdickung auszeichnen. Dann treten in dem Holztheile ein oder zwei Ringgefässe (Vasalprimanen) auf, während wohl schon vorher und gleichzeitig mit den jungen Bastfasern die jugendlichen Faserzellen des Holztheiles entstanden sind, ohne dass sich diese auf dem Querschnitte von den übrigen dünnwandigen Elementen so früh schon deutlich unterscheiden. Während dann nach und nach die Bündel der Faserzellen sich durch Zellvermehrung vergrössern und die Verdickung ihrer Zellen fortschreitet, entwickeln sich im Holztheile die ältesten Spiralgefässe und hierauf unter fast gleichzeitiger Entstehung der dünnwandigen Zellenarten (Siebröhren, Geleitzellen und Parenchymzellen) des Basttheiles die jüngeren Spiralgefässe, endlich die porösen Gefässe. Nach Ablauf dieser Entwickelungvorgänge verliert das centrale Cambium seine Fortbildungsfähigkeit, wird zu Dauergewebe (Cambiform) und es erscheint das Dickenwachsthum des betreffenden Gefässbündels vollendet.

In gleicher Weise wie bei den Monokotyledonen erfolgt Anlage und weitere Entwickelung des geschlossenen Gefässbündels der einjährigen Phanerogamen.

2. Fortwachsende Gefässbündel.

Die fortwachsenden Gefässbündel sammt dem Zwischengewebe nehmen ihren Ursprung in einem aus dem Urparenchym des Vegetations-

Digitized by Google

Fig. 373.

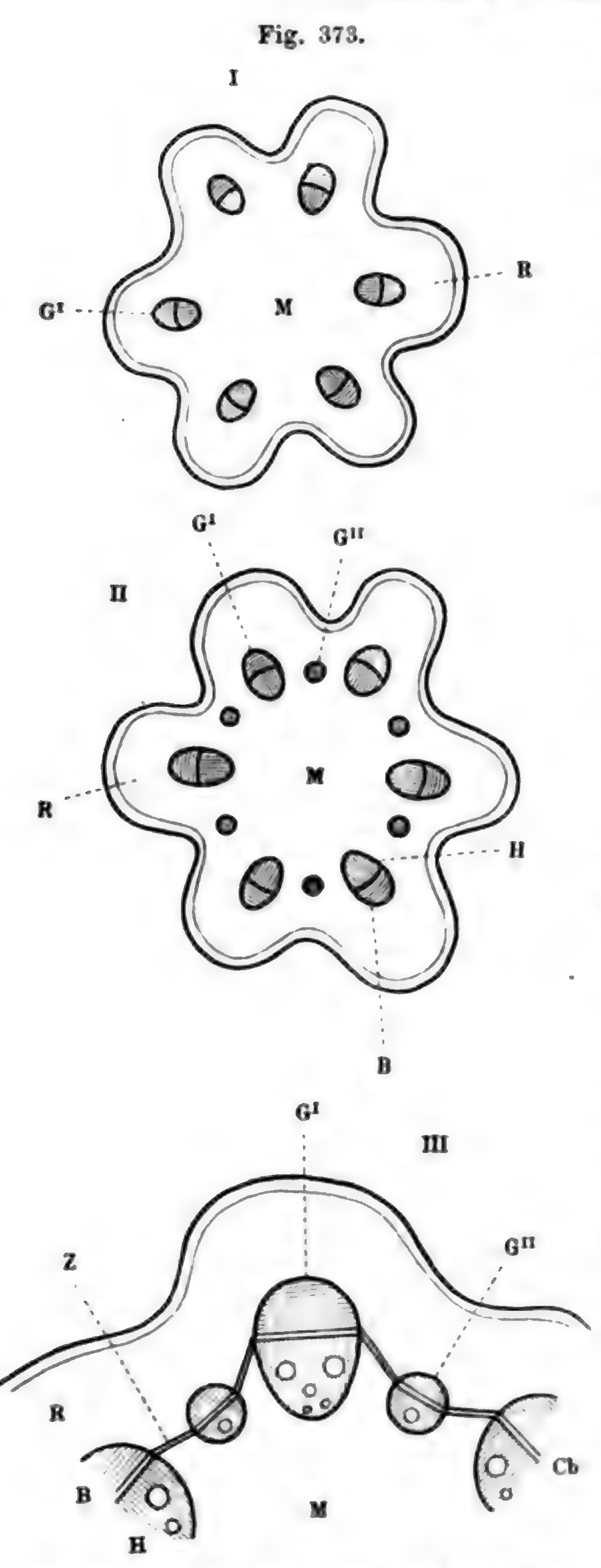


Fig. 373. I bis III. Querschnitte durch junge Internodien von Clematis Vitalba. *R* Rinde, *M* Mark, *G*^I primäre, *G*^II secundäre Gefässbündelanlagen, *B* Bast, *H* Holz, *Z* Interfascicular-Cambium.

kegels durch Zelltheilung sich entwickelnden secundären Bildungsgewebe, dem Verdickungsringe Schacht's, in dem sich, während in dem grösseren Theile dieses Gewebes Längs- und Quertheilungen — namentlich die ersteren — sich in langsamerem Fortschreiten bewegen, durch rasch auf einander folgende Längstheilung zunächst einzelne aus zartwandigen, in der Achse des Sprosstheiles gestreckten Zellen bestehende, im Kreise geordnete, durch ziemlich mächtige Lagen von parenchymatischem Zwischengewebe getrennte Gruppen von Cambiumzellen (Procambiumstränge, Initialstränge) heranbilden, aus denen im weiteren Verlaufe die Gefässbündelelemente hervorgehen. Bei Clematis Vitalba z. B., welche wir als einfachstes und leicht zu beschaffendes Beispiel wählen wollen, beobachten wir auf einem zarten Querschnitte des jüngsten noch ganz kurzen Internodiums, sechs den Streifen des Sprosses entsprechende Procambiumstränge.

Die nach aussen gelegenen Zellen dieser Stränge bilden sich zu den ersten Elementen des Bastes, die nach innen gelegenen zu den ersten Elementen des Holzes um, während eine mittlere tangentiale Zellenreihe zum Cambium des sich

entwickelnden „primären“ Gefässbündels wird, dessen Zellen sich sowohl nach radialer wie tangentialer Richtung in Theilung befinden. So werden fortwährend in mit dem Sprossumfange concentrischer Richtung einestheils neue Cabiummutterzellen, anderentheils nach aussen hin neue Elemente des Bastes, nach innen solche des Holzes erzeugt. Die jungen Gefässbündel nehmen, wie an tiefer geführten Querschnitten wahrnehmbar ist, etwas an Umfang zu und es erscheinen dieselben in diesem Internodium zwar noch durch weite Zwischengewebelagen getrennt (Fig. 373 I), aber bereits in Bast- und Holztheil sämmtliche Zellenarten — allerdings in noch unverdicktem und unverholztem Zustande — enthaltend. Die weitere Entwickelung zeigt in einem nächst älteren Internodium, dass, während das Cambium dieser Gefässbündel seine Thätigkeit fortsetzt, zwischen je zweien derselben ein neuer Procambiumstrang durch tangentiale und radiale Theilungen der betreffenden Zwischengewebszellen entsteht (Fig. 373 II), in dem sich gleichfalls Elemente von Bast und Holz heranbilden. Beide, die primären sowie die secundären Gefässbündel setzen nun ihre Thätigkeit in den nächst älteren, seine Streckung eben vollendet habenden Internodium fort, während die Zellen des Zwischengewebes ihre Ausmaasse nach radialer wie tangentialer Richtung vergrössern und in zwei bis drei das Cambium der primären und secundären Gefässbündel verbindenden Reihen sich dichteres Protoplasma ansammelt). Erst in den Internodien, in denen die Markzellen und die zunächst dem Marke gelegenen Zwischengewebszellen ihre erste Verdickungsschicht abgelagert und — wo diese in der Innenrinde dicht über den Gefässbündeln überhaupt auftritt — die schmale Korkschicht gebildet haben, wird durch tangentiale Theilungen in den gedachten, dicht über den weiten, verdickten Zellen liegenden Reihen von dünnwandigen, protoplasmareichen Zellen des Zwischengewebes eine das Interfascicularcambium bildende Verbindung zwischen dem Cambium der zwölf Gefässbündel („Fascicularcambium“) hergestellt. Es ist damit eine geschlossene Cambiumzone hergestellt, aus welcher in den in ihrer Zahl verbleibenden Gefässbündeln neue Gefässbündelelemente wie neue Strahlengewebszellen hervorgehen (Fig. 373 III). Bei anderen Holzgewächsen, Boehmeria, Aristolochia, Sipho (Strassburger), Ricinus (Sachs), erfolgt schon vor der Anlage der nachgebildeten Gefässbündelanlagen die Bildung des Interfascicularcambiums und damit des geschlossenen Cambiumringes, der nach der Rindenseite hin die Elemente des Bastes, nach der Markseite hin die Elemente des Holzes und nur an mehr oder minder beschränkten Stellen Zwischengewebe erzeugt (Fig. 374 *C*, *C'*, *C*).

Die Thätigkeit des Cambiumringes während der ersten und der folgenden Vegetationsperioden bedingt das Dickenwachsthum der dikotylen Sprossachsen, an denen die primären Gefässbündel erkennbar bleiben, indem sie etwas weiter in das Mark hineinragen, als die nachgebildeten, und so die Markkrone oder Markscheide bilden.

Digitized by Google

In der Wurzel erfolgt die erste Anlange ganz so, wie es bereits in Abschnitt III, S. 482 angegeben und durch die Figuren 332 und 333 verdeutlicht ist.

Später tritt zwischen den so entstandenen Strängen, von der Innenseite der Bastbündelchen ausgehend, dann über die ältesten Gefässe übergreifend, durch Theilung der betreffenden Parenchymzellen die Neubildung eines Cambiumringes auf, aus dem sich der Gefässbündelkreis dann in der normalen Weise weiter bildet, indem die neu entstehenden Elemente desselben zugleich die ursprünglich zwischen den primären Holzbündeln gelagerten Bastbündel vor sich herdrängen.

Fig. 374.

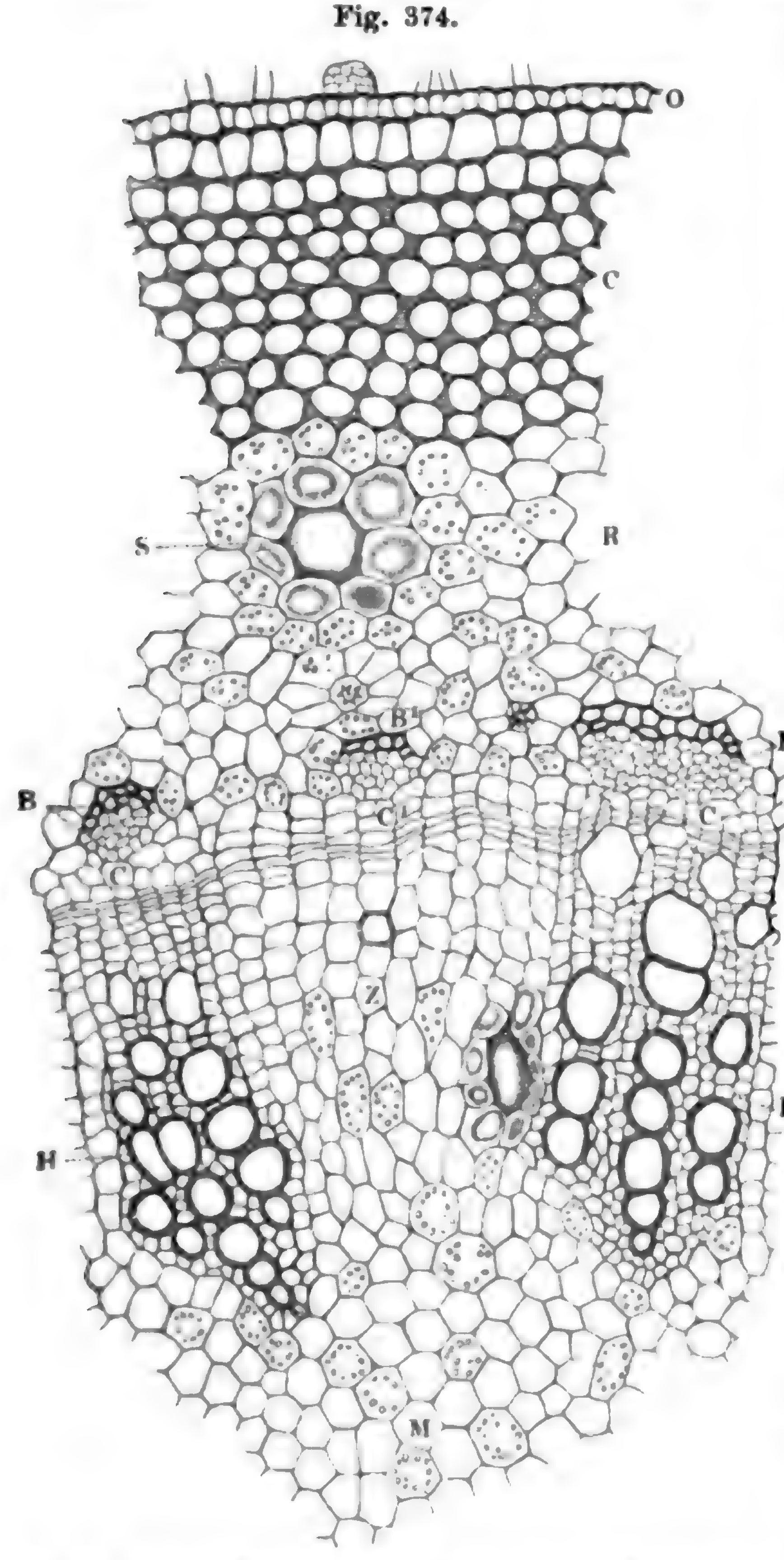


Fig. 374. Querschnitt durch ein junges Internodium von Boehmeria argentea. *O* Oberhaut, *Co* Collenchym, *R* Innenrinde, *S* Saftgang, *C* Cambium der Gefässbündel, C^1 aus dem Verdickungsringe später entstandenes Cambium, *B* Basttheil, *H* Holztheil der primären Gefässbündel, B^1 der aus dem Zwischencambium entstandene Bast, *Z* Zwischengewebe, *M* Mark. Vergr. 1 : 120.

Die relative Stellung der primären Gefässbündel zu dem Marke wird also hier, wo das letztere bleibt, eine andere, wie im Stamme, so dass von einer Markkrone, in dem Sinne wie bei dem letzteren, nicht die Rede sein kann. Um sich über diese Verhältnisse unter anderem auch der von der in dem Stamme abweichenden Anordnung des Strahlengewebes genau zu unterrichten, müssen überall die

Digitized by Google

jüngeren Entwickelungszustände zu Rathe gezogen werden. Bei älteren Wurzeln sind dieselben häufig nicht mehr klar genug zu erkennen, obwohl auch hier in manchen Fällen die primären Gefässgruppen und

Fig. 375.

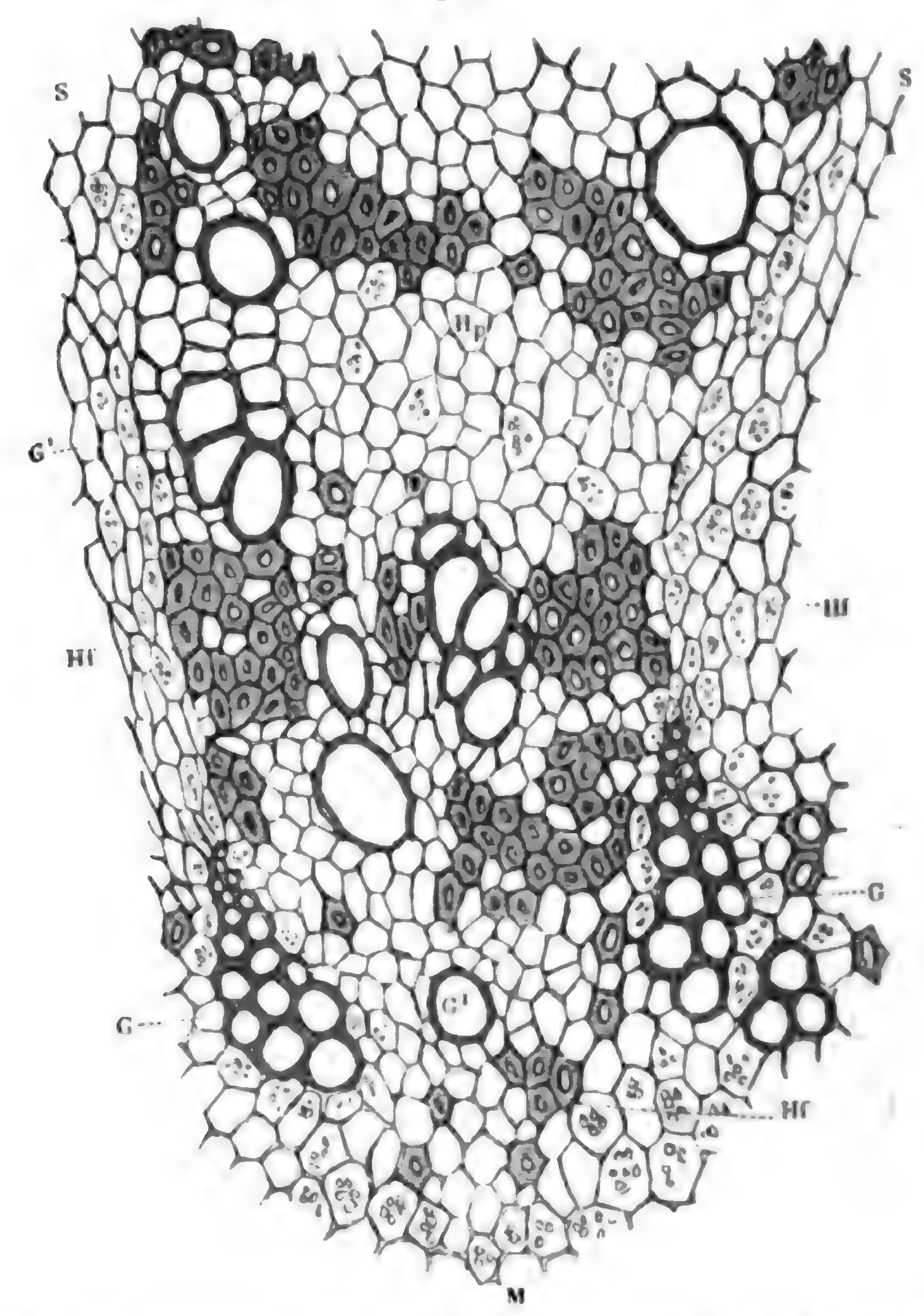


Fig. 375. Theil eines Querschnittes der Wurzel von *Ficus amazonica*. *M* Mark, *S* Markstrahlen, *G G* die in centripetaler Richtung entstandenen primären Gefässgruppen, dazwischen das später in centripetaler Richtung entwickelte Holzbündel mit seinen Gefässen, *G* G^1 Holzfasern, *Hf* und *Hf* Holzparenchym. Vergr. 1 : 220.

deren Verhältniss zu dem später gebildeten Holzkörper noch deutlich genug hervortreten (Fig. 375).

Zur Verfolgung der Entwickelungsgeschichte der fortwachsenden Gefässbündel wähle man theils Pflanzen mit gegenständigen (Clematis u. a.), theils solche mit wechselständigen (Aristolochia, Sipho, Boehmeria ar-

Digitized by Google

gentea, Ricinus) Blättern, und versäume dabei nicht, an passend hergerichteten Präparaten, d. h. an Längsschnitten von entsprechender Dicke, welche oft geradezu aus den Hälften der betreffenden Internodien bestehen und eventuell durch Behandlung mit Aetzkalilösung durchsichtig gemacht werden können, den Verlauf und die Verbindung der Gefässbündel unter einander von ihrem frühesten Auftreten an zu studiren.

3. Entwickelung der Secretbehälter des Gefässbündels.

a) Schizogene Harz-, Oel- und Gummigänge.

Die Harzgänge in dem Holze der Abietineen (Abies, Picea, Larix, Pinus,), welche minder zahlreich im inneren, zahlreicher im mittleren und äusseren Theile des Jahresringes erscheinen, nehmen ihre Entstehung während der Vegetationsperiode in der Nähe des Cambiumringes und es kann dieselbe an demselben Materiale

Fig. 376.

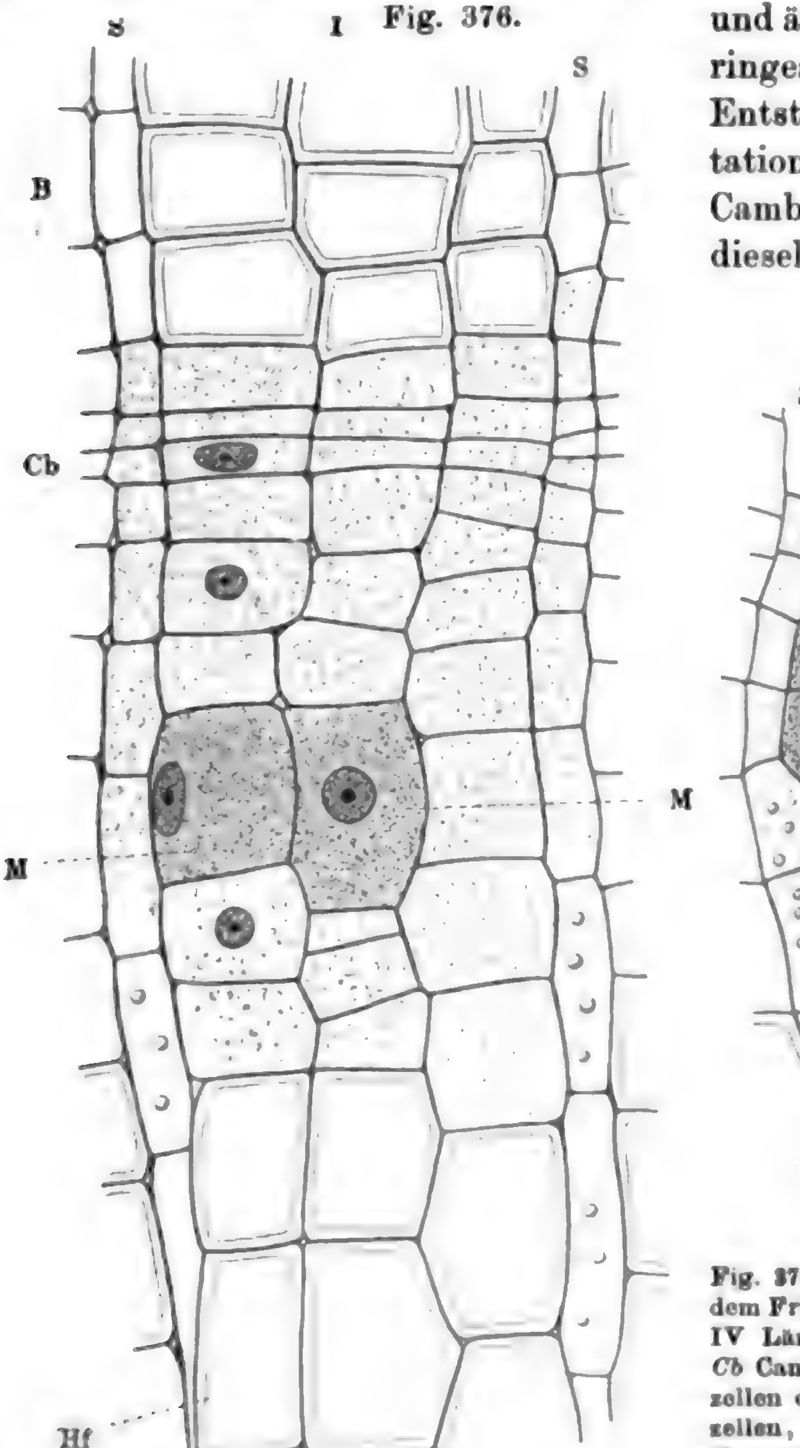


Fig. 376.

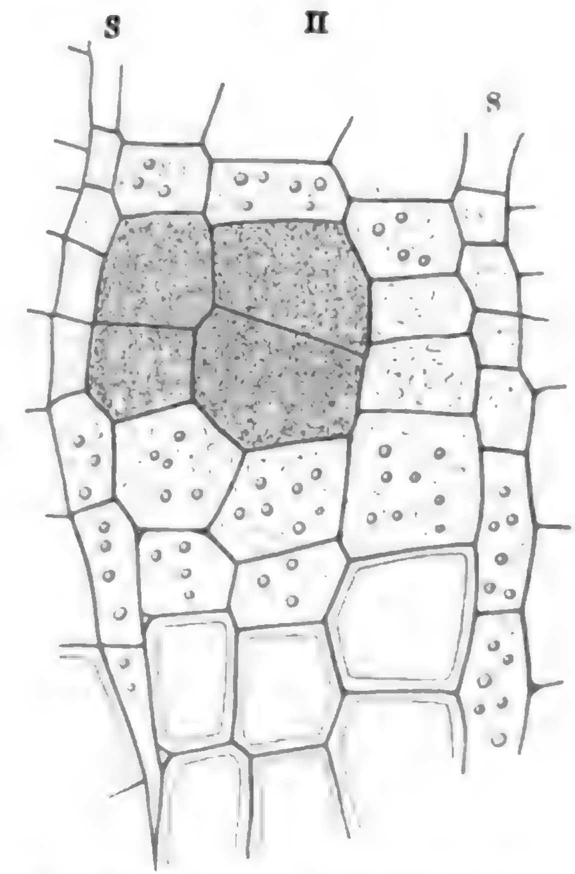


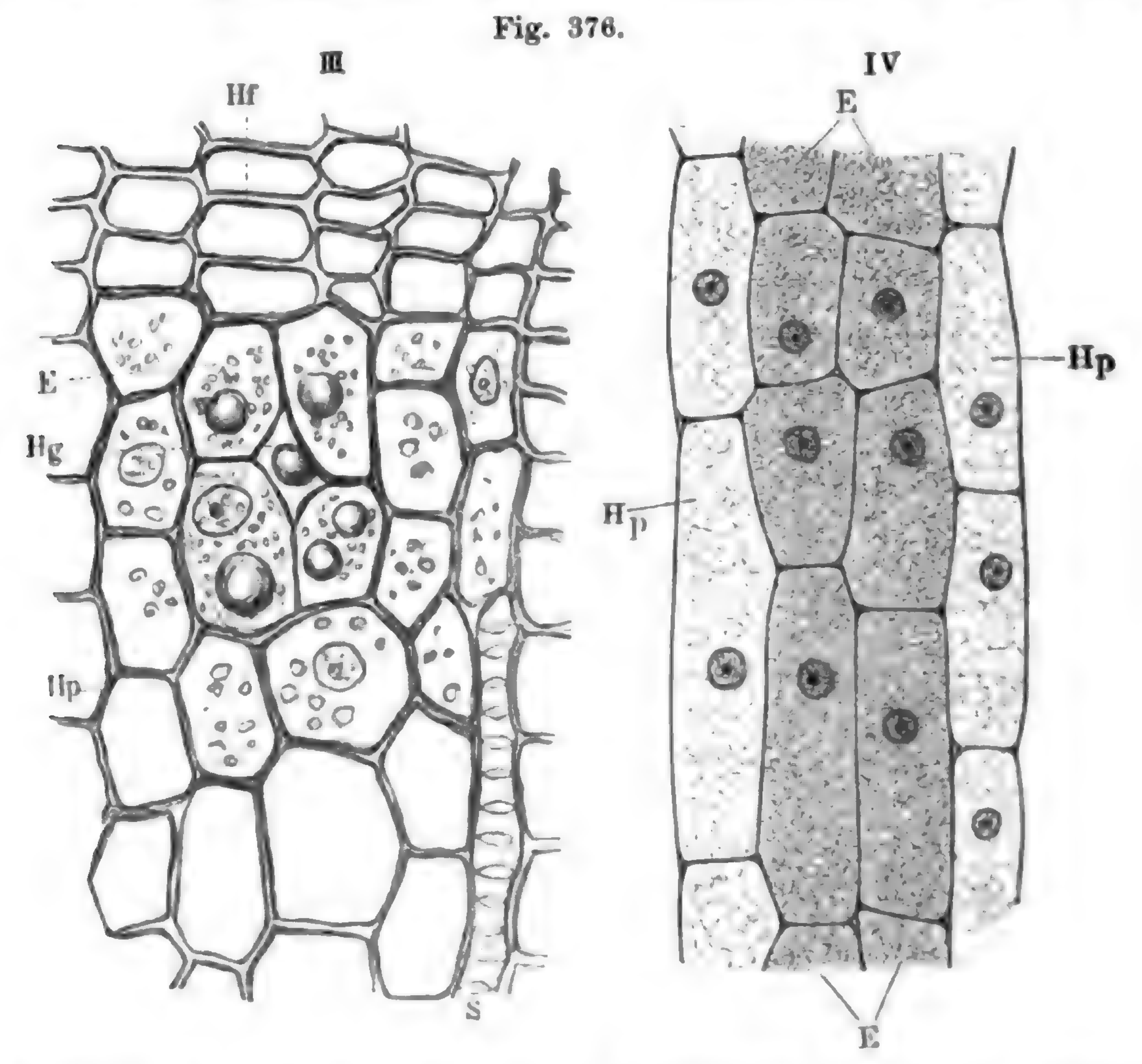
Fig. 376. I bis III. Querschnitte aus dem Frühlingsholze von Pimus silvestris. IV Längsschnitt zu II. *B* Jungbast, *Cb* Cambium, *Hf* Jungholz, *M* Mutterzellen des Harzganges, *E* Auskleidungszellen, *Hp* Holzparenchym, *Hg* junger Harzgang. *S* Bündelstrahlen. Vergr. 1 : 400.

Digitized by Google

und an gleichen Präparaten, wie die Entwickelung der Verdickung der Zellwand verfolgt werden.

Nehmen wir als Beispiel für die Entwickelungsgeschichte Pinus silvestris, so kann, da nach dem Obigen die Harzgänge in verschiedenen Perioden der Vegetationszeit entstehen, unter Umständen zur selben Zeit, und zwar etwa an Ende Juni bis Mitte August, entnommenen Stammausschnitten, deren Anlage und weitere Ausbildung zur Anschauung gelangen. Im anderen Falle ist zu verschiedenen Zeiten beschafftes Untersuchungsmaterial zu verwenden. Auf zarten, durch die Cambiumregion geführten Quer- und Längsschnitten, welche sich

Fig. 376.



mindestens bis zu dem vorjährigen Jahresringe erstrecken müssen, lässt sich Folgendes feststellen.

Wo ein Harzgang während der Entwickelung des inneren Theiles (Frühlingsholz) des Jahresringes entsteht, tritt auf dem Querschnitte nahe unter dem Cambium in den Reihen der eben die Primärwand angelegt habender Jungholzzellen eine Gruppe mehr oder minder zahlreicher, dichter als die ihrer Umgebung mit Protoplasma erfüllter, theilweise eben getheilter Zellen auf, von denen sich zwei — auch drei — durch ihr grösseres radiales Aussenmaass auszeichnen (Fig. 376 I), welche offenbar die Mutterzellen der späteren zartwandigen Auskleidungszellen vorstellen, während die diesen nächstliegenden — namentlich diejenigen, welche

Digitized by Google

die Verbindung mit dem Strahlengewebe herstellen — zu Holzparenchym werden. Diese Mutterzellen erleiden zunächst eine Theilung in tangentialer Richtung, so dass daraus eine vier- beziehentlich sechszählige Zellgruppe entsteht (Fig. 376 II). Dieselben können entweder ungetheilt verbleiben oder es kann die eine oder die andere eine neue einmalige oder auch wiederholte radiale und unter Umständen tangentiale Theilung eingehen, so dass später eine verschiedene Zahl von in einer oder mehreren Schichten auftretenden Auskleidungszellen erscheint. Nach der ersten Theilung stehen die Auskleidungszellen gleich dem umgebenden Parenchym und der Jungholzzelle noch in festem Verbande. Sobald aber die jungen Holz- und umgebenden Parenchymzellen ihren radialen Durchmesser mehr und mehr vergrössern, entsteht die Anlage des Ganges, welcher in der ersten Jugend immer aus einem Strange von zartwandigem, unverholztem, in der Regel einen verhältnissmässig kleinen, durch Auseinanderweichen der wenigen centralen Zellen gebildeten vier- oder mehrseitigen Intercellulargang mit etwas vorgewölbten Wänden bildet (Fig. 376 III). Als Inhalt zeigt sich jetzt schon sowohl in den Auskleidungszellen neben feinkörniger Stärke, wie in dem Intercellularraum das Terpen in Tropfenform. Auf dem Längsschnitte erscheinen die Auskleidungszellen sowie die umgebenden Parenchymzellen durch horizontale Querwände gekammert (Fig. 376 IV). So bildet der Strang bezüglich seiner Ausdehnung nach der Stamm- oder Sprossachse Stockwerke von Zellen, in denen sich die Theilungsvorgänge in verschiedener Weise vollziehen können. In verschiedener Höhe desselben Stranges entnommene Querschnitte bieten demgemäss auch verschiedene Bilder.

Im Herbstholze, namentlich wenn dieses bei schmalen Jahresringen aus nur wenigen Zellenschichten mit verhältnissmässig schwach verdickten Wänden gebildet wird, findet auch eine von der geschilderten in den ersten Stufen etwas abweichende Entwickelung statt. Es entsteht nämlich die erste Anlage des Harzganges, über dem später die Jahresringgrenze mehr oder weniger nach Cambium und Bast vorgewölbt erscheint, schon in dem cambialen Gewebe. Hier sind es zwei innerhalb des in radialer Richtung englumigen Gewebes sich in Folge des Ausbleibens der tangentialen wie eventuell radialen Theilungen durch Grösse und Gestalt auszeichnende Zellen, welche zu den Mutterzellen des Stranges der Auskleidungszellen werden (Fig. 377 a. f. S.). Im weiteren Verlaufe theilen sich beide oder auch (seltener) nur eine derselben durch eine in mehr oder minder radialer Richtung, dann tritt der Intercellularraum auf und es geht die weitere Ausbildung in der vorher beschriebenen Weise vor sich.

Die weitere Ausbildung des Harzganges und die fernere Gestaltung des gleich dem umgebenden, nach schwacher Verdickung einfache Poren zeigenden, stärkeführenden Parenchyms stets — wenigstens in dem Splint — unverholzt bleibenden Auskleidungsgewebes (Fig. 378), dessen

Digitized by Google

Fig. 377.

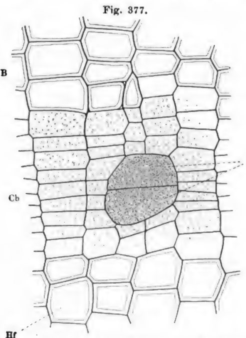


Fig. 377. Querschnitt aus dem Herbstholze von Pinus silvestris. *B* Jungbast, *Cb* Cambium, *M* Mutterzellen des Harzganges. Vergr. 1 : 400.

Inhalt in der Ruhezeit gleichfalls aus Stärkemehl besteht und später erst eine chemische Umwandlung in nach dem Intercellularraum übergeführt werdendes Terpen erleidet, beruht zum Theil auf den Wachsthumsverhältnissen des umgebenden Holzkörpers. Der Intercellularraum erweitert sich ziemlich schnell und die Auskleidungszellen werden je nach der Richtung der Vergrösserung der Ausmaasse der in Frage kommenden Zellen und nach ihrer Zahl mehr oder weniger in radialer (Frühlingsholz) oder tangentialer (Herbstholz)

Fig. 378.

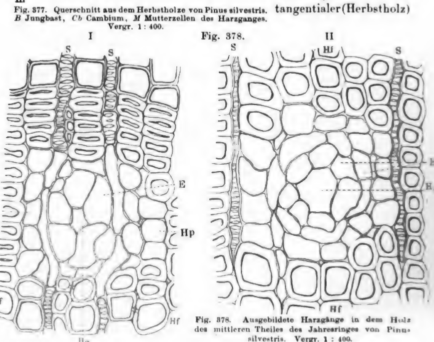
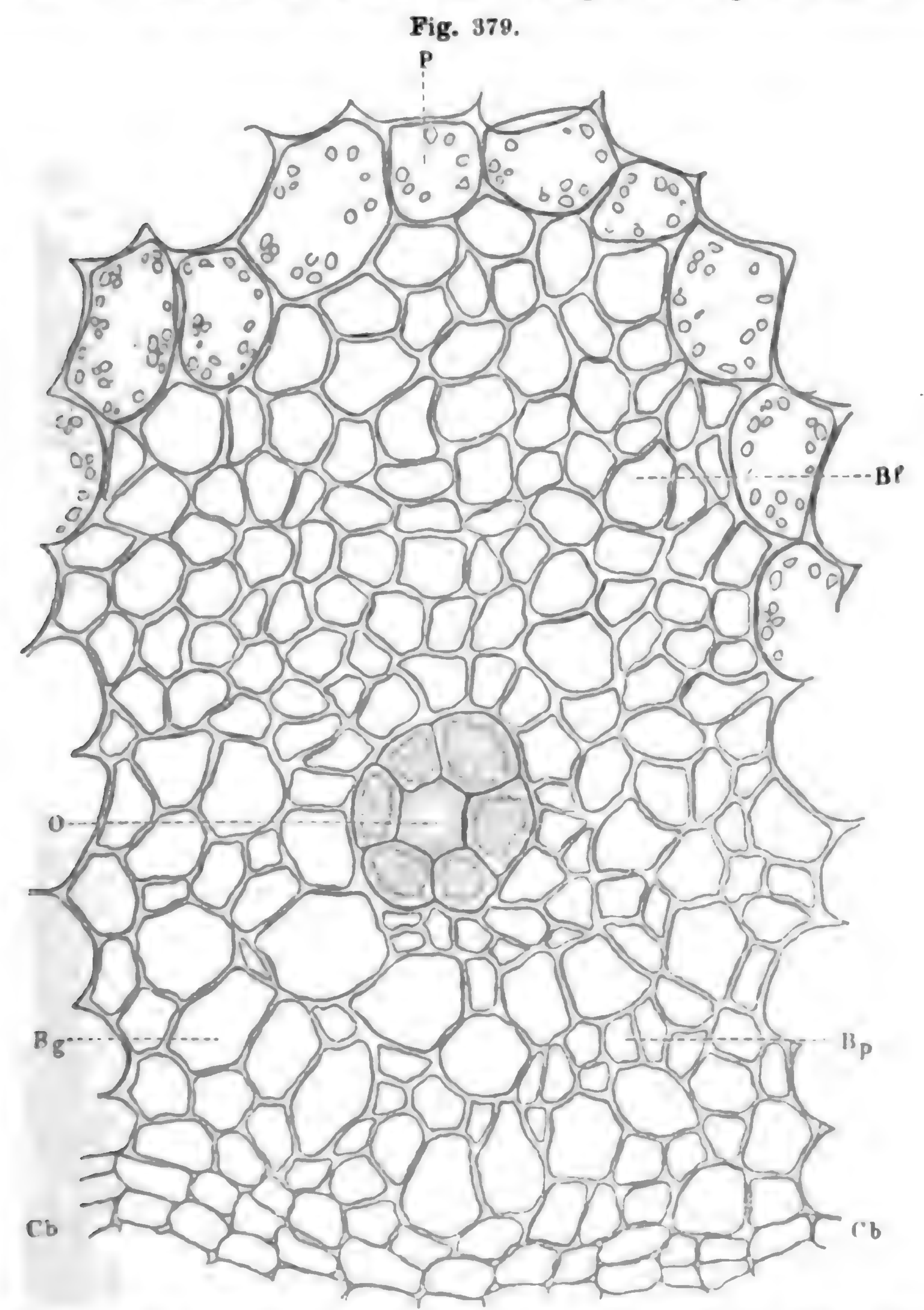


Fig. 378. Ausgebildete Harzgänge in dem Holz des mittleren Theiles des Jahresringes von Pinus silvestris. Vergr. 1 : 400.

Google

Richtung gedehnt (Fig. 378 I u. II). Von diesen Umständen hängt denn auch die endliche Form des Harzganges mit ab. Dieselbe erscheint hier meist — jedoch hier weniger scharf ausgesprochen als bei der Fichte — als Kreis oder als eine kurze Ellipse, deren grösste Achse in

Fig. 379.



Querschnitt durch den Basttheil des Gefässbündels von Angelica silvestris. Vergr. 1 : 620.

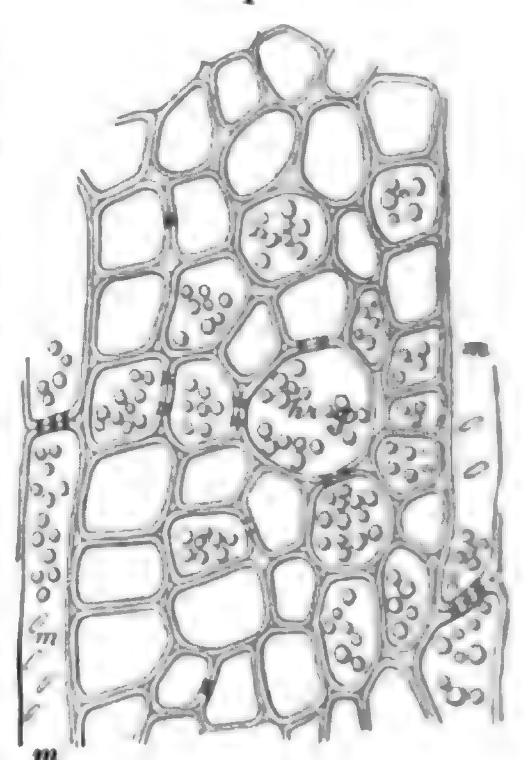
dem Frühlingsholze radial, in dem Herbstholze tangential gerichtet ist. Doch scheinen, wie aus der Beobachtung der Entwickelung und der weiteren Ausbildung der Harzgänge innerhalb der im Vorausgehenden erwähnten Herbstholzlagen hervorgeht, diese Verhältnisse keineswegs

Digitized by Google

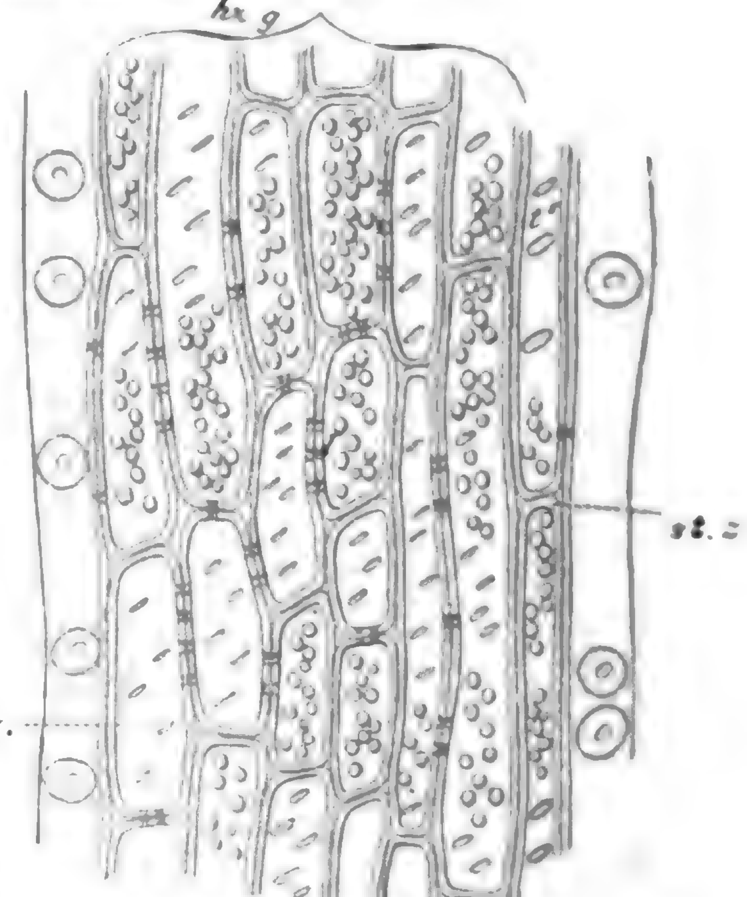
allein, sondern auch die Wachsthumserscheinungen der Auskleidungszellen hierfür maassgebend zu sein.

Im Kernholze zerreissen meist die Auskleidungszellen und werden aufgelöst, während das umgebende Holzparenchym nun verholzt erscheint und den Harzgang einschliesst (Fig. 289, S. 426).

Fig. 380.



Die Entstehung der Oel-, Gummiharz- und Gummigänge, welche in dem Gefässbündel, und zwar vorzugsweise in dem Basttheile mancher Compositen, Umbelliferen, Araliaceen, Anacardiaceen, Clusiaceen u. s. w. auftreten, entstehen nach den von mehreren Seiten darüber ausgeführten neueren Beobachtungen in ähnlicher Weise, wie die Harzgänge der Coniferen. Ebenso gehen die weiten Milchsaftgänge, wie sie in dem Basttheile des Gefässbündels der Rhusarten vorkommen, und die Oelharzgänge (Fig. 379 *O* a. v. S.) inmitten der Bastbündel mancher Umbelliferen (Angelica, Anthriscus) gleichfalls aus Strängen von aus auf einander folgenden Theilungen entstandenem zartwandigen, bei vollständiger Ausbildung als Auskleidungs-, beziehentlich Ausscheidungsgewebe, um den Intercellulargang gruppirten, langgestreckten, bei ersteren ein Gemisch von im Protoplasma eingelagerten wasserhellen Tröpfchen und feinkörnige Stärke, bei den anderen flüchtiges Oel führenden Parenchym hervor.



b) Lysigene Secretbehälter.

Als Beispiel der Entwickelung dieser Behälter aus einer vorgebildeten, von dem umgebenden Gewebe verschiedenen Zellengruppe mögen diejenigen der Harzgänge der Weisstanne (Abies pectinata) und der Gummibehälter des Kirschbaumes dienen.

Digitized by Google

Auf dem Querschnitte des ausgebildeten Gipfeltriebes älterer Bäume treten neben einzelnen Parenchymzellen Gruppen von in der Cambiumregion entstandenem, öfter in der Mitte eine grössere rundliche Zelle enthaltendem Holzparenchym auf, dessen Zellen Stärke führen (Fig. 380 I). Der Längsschnitt zeigt diese Gruppen aus in der Mitte kürzeren, am Rande mehr gestreckten Zellen gebildet (Fig. 380 II). Folgende Internodien entnommene Schnitte zeigen im Wesentlichen noch den gleichen Bau der Holzparenchymgruppe, doch sind die mittleren Zellen mit Terpentropfen erfüllt, neben denen hier und da auch kleine Stärkekörner auftreten. In älteren Stammabschnitten tritt von nun ab eine Umbildung der Zellwände in Terpen ein und es entsteht ein mittlerer, zunächst engerer, dann durch fortschreitende Verharzung der Zellwände ein bis zum Verschwinden der mittleren Zellgruppe erweiterter Gang (Fig. 380 III u. IV). Hier geht, wie aus dem Vorausgehenden ersichtlich ist, die Harzbildung nicht von den Zellwänden aus, sondern es werden diese erst durch Contactwirkung in die Metamorphose mit einbezogen.

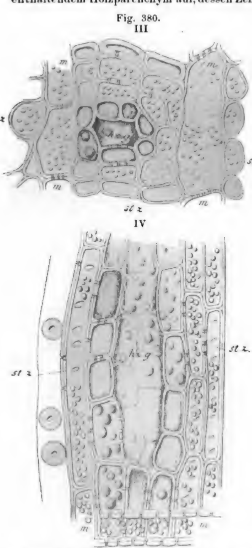
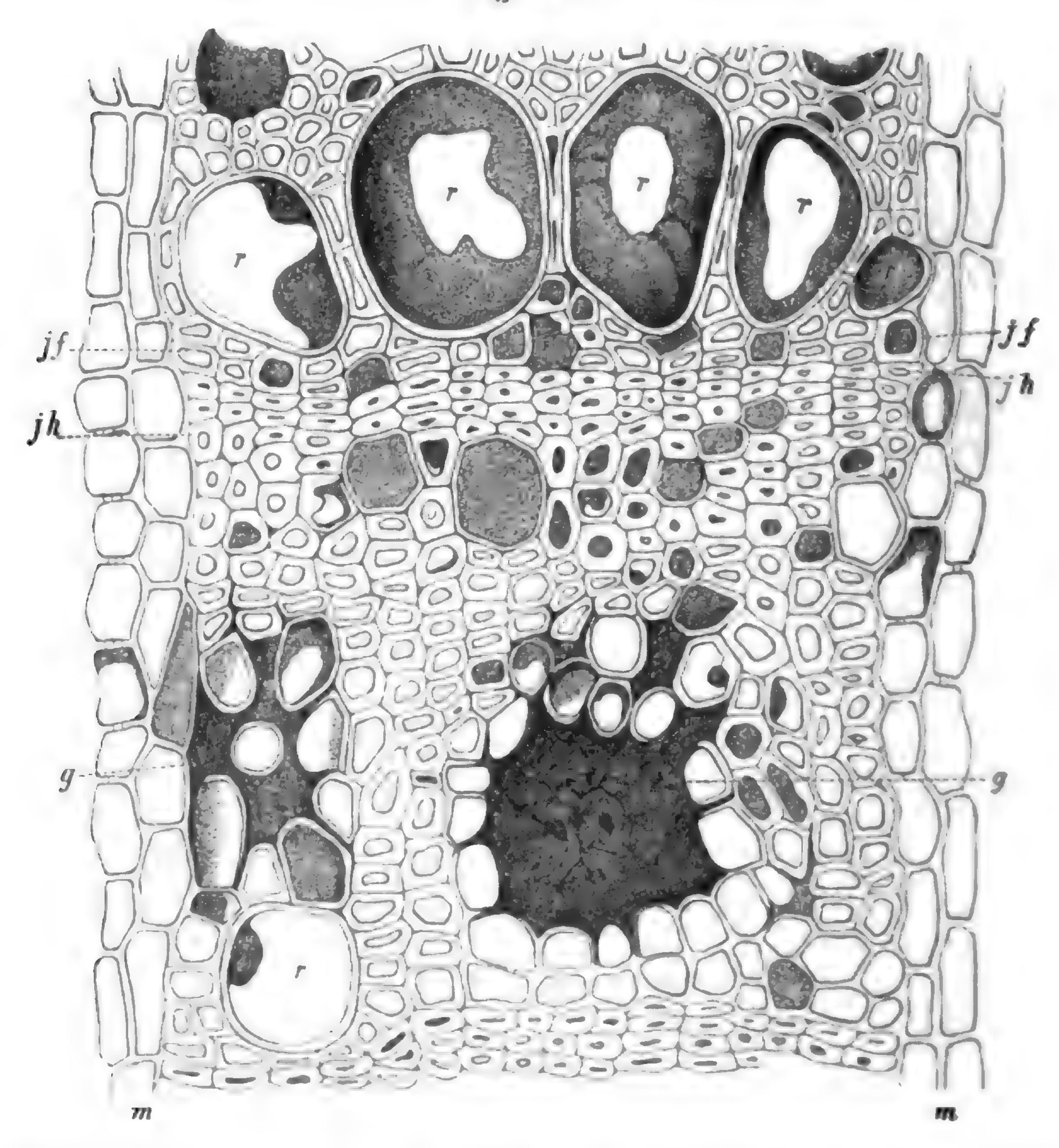


Fig. 380. I bis IV. Entwickelungszustände der Harzgänge von Abies pectinata. *m* Strahlengewebe, *st. z* stärkeführendes Holzparenchym, *hz. g* Harzgang. Vergr. 1 : 400.

Bei dem Kirschbaum werden in dem Cambium unter Verlassen der regelrechten Entwickelung bisweilen den ganzen Zwischenraum zwischen zwei Bündelstrahlen einnehmende rund-

liche Gruppen von Holzparenchym gebildet, deren mittleren Zellen diejenigen der Randzone oft an Weite übertreffen. Schon bald nach Bildung dieser Gruppen beginnt in deren Mittelpunkt die Gummibildung unter Umbildung der Zellwände und schreitet nach dem Umfange hin fort, so dass allmälig grosse, mehr oder weniger mit Gummi angefüllte Hohlräume entstehen (Fig. 381). Die Umbildung der Zellwände in Gummi soll hier nach Tschirch unter Lösung der Inter-

Fig. 381.



cellularsubstanz so vor sich gehen, dass zunächst die Primärwände und dann die Verdickungsschichten in Gummi übergeführt werden. Ob indessen hier nicht auch durch die chemische Umbildung der Stärke, welche stets in dem Holzparenchym zu beobachten ist, die Vergummung der Zellwände eingeleitet wird, dürfte erst durch eine vollständige Entwickelungsgeschichte von dem cambirten Zustande der betreffenden Zellgruppen aus zu entscheiden sein.

Digitized by Google

Andere derartige Behälter nehmen ihren Ursprung aus nicht besonders vorgebildeten Zellengruppen. So z. B. gehen die weiten Luft- oder Milchsaftgänge mancher Aroideen (Fig. 382 *L*) aus der Resorption von einem bis zwei weiten Spiralgefässen hervor, welche man bei jüngerem Material häufig genug noch an Stelle der ersteren zu beobachten Gelegenheit hat.

Die nächste Umgebung aller dieser Behälter eigenthümlicher Säfte, wird stets von Parenchymzellen gebildet, in deren Inhalt in der Ruheperiode Stärkemehl und andere Reservestoffe enthalten sind, welche während der Vegetationszeit eine chemische Umbildung in die betreffenden Verbindungen erleiden. Wo man, wie es von älteren Forschern mehrfach geschehen ist, angenommen hat, dass die in Rede stehenden Behälter mit einer eigenen Wand ausgekleidet seien, da beruht dies auf entschieden ungenauer Beobachtung, wie man sich namentlich bei der Untersuchung der von derbwandigem Parenchym umgebenen Harz- und Milchsaftgänge auf das Sicherste überzeugen kann.

Fig. 382.

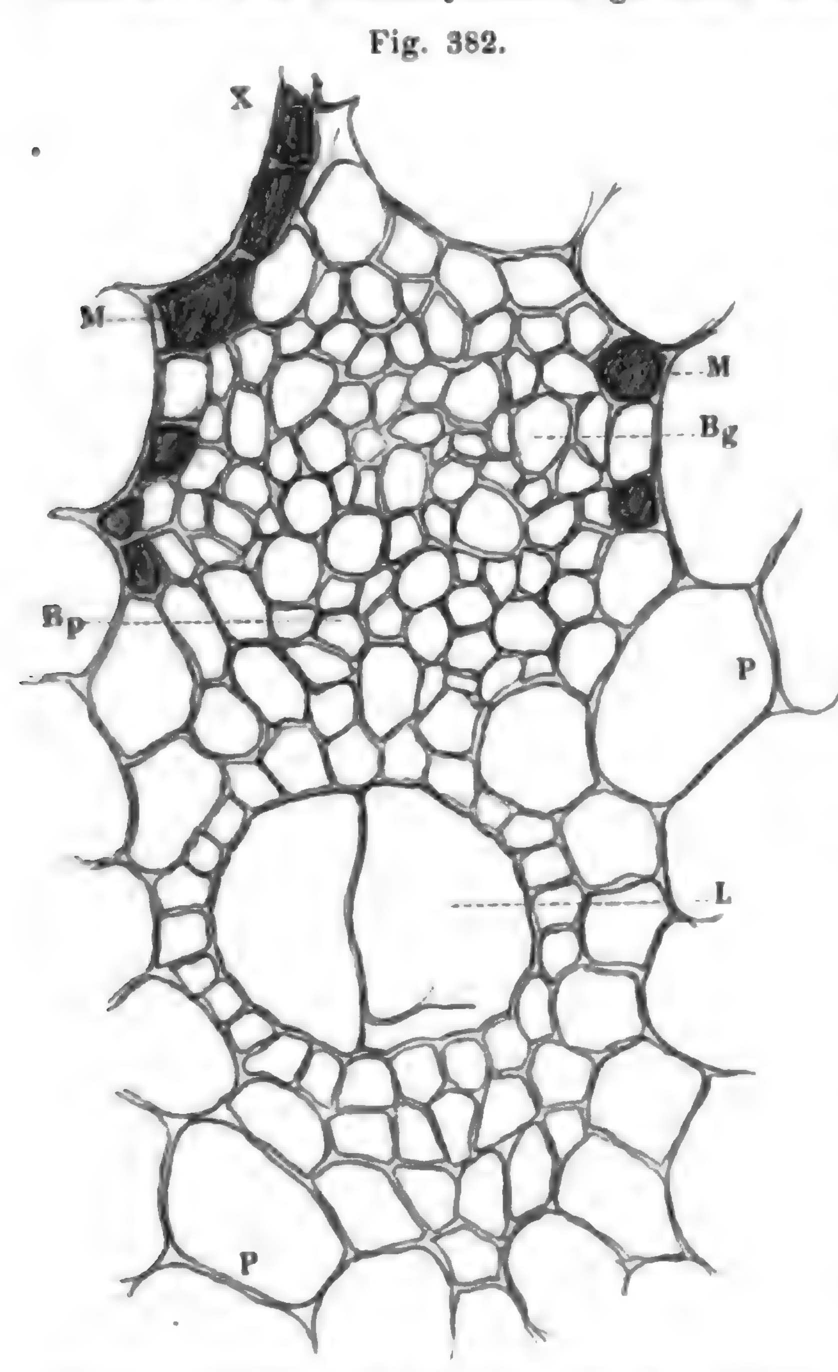


Fig. 382. Querschnitt durch ein Gefässbündel von Xanthasoma riolaceum. Vergr. 1 : 620.

Zur Untersuchung über die Entstehung der hierher gehörigen Secretbehälter kann man unter Umständen die sich streckenden Knospen und jüngsten Triebe oder — namentlich bei Holzgewächsen — Zweig- und Stammstärke aus der Cambiumregion während der Vegetationsperiode benutzen und hat man bei ersteren, um sich einer Reihe möglichst lückenloser Entwickelungszustände zu versichern, von dem Vegetationspunkte an abwärts zu gehen, bis man zu völlig fertigen Zuständen gelangt ist. Zur Beantwortung der Frage, in welcher Weise die Bildung der eigen-

Digitized by Google

thümlichen Säfte selbst stattfindet, muss dagegen eine vergleichende, durch die betreffenden Reagentien und Färbemittel unterstützte Beobachtung im ruhenden Zustande und während der Vegetationszeit stattfinden. Was die Art der Untersuchung betrifft, so gewähren hier zarte Quer- und Längsschnitte die einzig sicheren Anhaltspunkte. Macerationspräparate können dagegen insofern in Betracht kommen, als sie über das Fehlen einer die Gänge auskleidenden eigenen Wand Gewissheit geben.

Zweites Capitel.

Entwickelung der Zellwand.

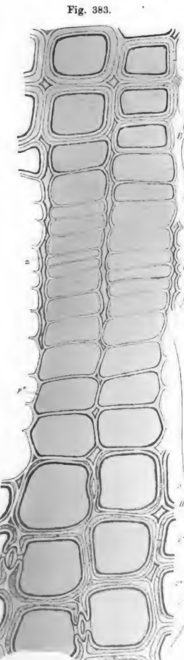
I. Entstehung der Verdickungsschichten.

Schon in der ersten Auflage dieses Buches (Bd. 2, S. 72 u. f.) habe ich darauf hingedeutet, dass mir das Zustandekommen der verschiedenen Theile und Schichten verdickter Zellwände allein durch ununterbrochene Einlagerung und nachträgliche Differenzirung der homogenen Zellwand in weiche und dichte Lamellen auf Grund meiner einschlägigen Beobachtungen als zweifelhaft erscheine. Dort schon habe ich u. a. an der Entwickelung der Verdickung von Clematis vitalba nachzuweisen versucht, dass die secundäre Verdickung erst nach vollständiger Ausbildung der primären Zellwand, und zwar durch periodische Einschachtelung in sich differenter Schichten entstehe, ohne dass ich aber entscheiden wollte, wie dies letztere Verhältniss zu Stande komme. In der Folge gelangte ich mehr und mehr zu der Ueberzeugung, dass die Verdickung der Zellwände durch Verbindung der beiden Vorgänge: periodischer Neubildung secundärer Zellwandgenerationen und weiterer Ausbildung dieser durch Einlagerung bewirkt werde, dass also bei dem Dickenwachsthum zwei Processe: ein der Apposition der älteren Autoren entsprechender und die Intussusception wesentlich betheiligt seien.

Zum Ausgangspunkte für das Studium der Verdickungsvorgänge eignet sich am besten die Entwickelung der Verdickung bei den Holzfasern von Pinus silvestris, deren Zellwand bekanntlich aus nur drei optisch unterscheidbaren Schichten: einer äusseren dichteren, stark lichtbrechenden Primärwand, einer mittleren, minder lichtbrechenden, die sogenannte „secundäre" Verdickung, und einer inneren wieder stärker lichtbrechenden Schicht, der Innenwand, sogenannten „Tertiärwand", besteht. In diesem Objecte liegt nämlich zunächst ein Typus vor für die gleichen Entwickelungsvorgänge bei anderen Nadel- und bei vielen Laubhölzern; dann ist an demselben die Beobachtung am leichtesten und schärfsten zu führen, die einzelnen Schritte der Entwickelung

Digitized by Google

Fig. 383.



lassen sich am klarsten aus einander halten, und es vollzieht sich endlich von ihm aus die Uebertragung der entwickelungsgeschichtlichen Einzelheiten auf die Entstehung der mehrfach geschichteten Zellwände möglichst ungezwungen.

Ein Querschnitt durch die Cambiumregion eines alten Stammes von Pinus silvestris zur Zeit der lebhaften Bildung des Frühlingsholzes zeigt, abgesehen von dem Verhalten der cambialen Tochterzellwände, welches in einem späteren Capitel erörtert werden wird, folgende Verhältnisse:

Das eigentliche, eine oder wenige erst getheilte Zellen umfassende Cambium nimmt eine verhältnissmässig nur schmale Zone ein (Fig. 383 *C*). Die radialen Wandstücke seiner Zellen sind in der bekannten Weise durch eine meist ganz structurlose, bald in geringerer, bald in grösserer Masse vorhandene Zwischensubstanz (Fig. 383 *z*) von einander getrennt und zeigen eine um nur Weniges erheblichere Dicke, als die tangential verlaufenden. Zwischen den zu Bast und Holz übergetretenen jungen Zellen vermindert sich, während dieselben in radialer Richtung sich strecken, die genannte Substanz mehr und mehr, um endlich — ausgenommen in den Ecken von je drei oder vier zu-

Fig. 383. Querschnitt durch das Cambium, den jungen Bast und das junge Holz eines alten Stammes zur Zeit der Entwickelung des Frühlingsholzes. *B* Bast; *C* Cambiumregion; *H* Holz; *pr* primäre Zellwand; *sa* äussere Schicht der secundären Zellwand; *si* innere Schicht der secundären Zellwand (Innenwand, „tertiäre Membran"); *z* Zwischensubstanz zwischen den radialen Wandestücken der cambialen, jungen Bast- und Holzzellen; *p* Pore; *i* Intercellularzwickel. Vergr. 1 : 500.

Digitized by Google

sammenstossenden Zellen — ganz zu verschwinden und die benachbarten primären Zellwände sich anscheinend vollständig berühren zu lassen. So erscheinen diese gleichsam zu einer zwischen den benachbarten Zellhohlräumen verlaufenden, einzigen homogenen Scheidewand ausgebildet; in der man nur in einzelnen Fällen eine Trennungslinie wahrnehmen kann, welche das Entstehen aus zwei Zellwänden ohne Weiteres darthut. Die Vergrösserung des radialen Zelldurchmessers schreitet nun noch eine Weile fort und die radialen Wandstücke werden dabei an Dicke den peripherischen mehr und mehr gleich. Die jungen Bast- und Holzzellen haben jetzt ungefähr einen quadratischen Querschnitt und sind allseitig von anscheinend homogenen, einfachen, das Licht stark brechenden, namentlich in dem jungen Holze (mit Ausnahme des im nächsten Capitel näher zu besprechenden mittleren dunklen Netzwerkes der Intercellularsubstanz) in dem Polarisationsmikroskope hell aufleuchtenden Wänden umgeben (Fig. 403, S. 573). Sobald dieselben ihr normales Ausmaass erreicht haben, was im Baste viel früher als im Holze eintritt (Fig. 383 und 384), wo es häufig erst in der siebten bis achten, oft sogar in noch weiter rückwärts vor dem noch in Theilung begriffenen Gewebe gelegenen Zellenreihen bemerkbar wird, beginnt die Verdickung innerhalb des Umfanges der vollständig individualisirten primären Zellwand. Hier sieht man bei den jüngsten von den in den Verdickungsprocess eingegangenen Zellen des Holzes eine zunächst in den Ecken am deutlichsten erkennbare, an anderen Stellen häufig, indessen nicht immer an der primären Zellwand dicht anliegende, in einzelnen Fällen diese scheinbar verdickende Wandschicht (Fig. 383 und 384 *si*), welche sich in einzelnen Fällen beim Präpariren ganz oder theilweise loslöst. Diese Schicht besitzt eine der primären Zellwand etwa gleiche Dicke, sowie ein Lichtbrechungsvermögen, welches dasjenige der letzteren im unverholzten Zustande nahezu, aber nicht ganz erreicht. In chemischer Beziehung scheint zwischen diesen beiden Zellwandtheilen ein wesentlicher Unterschied nicht zu bestehen. Beide färben sich, so lange sie noch nicht verholzt sind, unter Chlorzinkjodlösung hellbläulichviolett, unter Jod und Schwefelsäure hellblau (Fig. 123, S. 199) und verhalten sich gegen die S. 8 erwähnten Pectose-Cellulose anzeigenden Färbeflüssigkeiten — insbesondere Rutheniumroth und Hämatoxylin — etwa gleich. Schon auf diesem Entwickelungszustande befindet sich zwischen der primären Zellwand und der neu gebildeten innersten Schicht, welche unzweifelhaft hier schon dem entspricht, was man als „tertiäre Membran", „Innenhaut" u. s. w. unterschieden hat, eine, wenn auch nur in höchst geringer Masse vorhandene, minder stark lichtbrechende, weichere Schicht ausgebildet. Diese wird namentlich nach der Anwendung von Aetzkalilösung (Fig. 385), von Chlorzinkjodlösung oder von Jod und Schwefelsäure, wobei sie tiefer gefärbt wird (Fig. 123, S. 199), leicht erkennbar. Vorzugsweise ist hier die Anwendung des erstgenannten Reagenzes (auch vor der Behandlung

Digitized by Google

Fig. 384. Fig. 385.

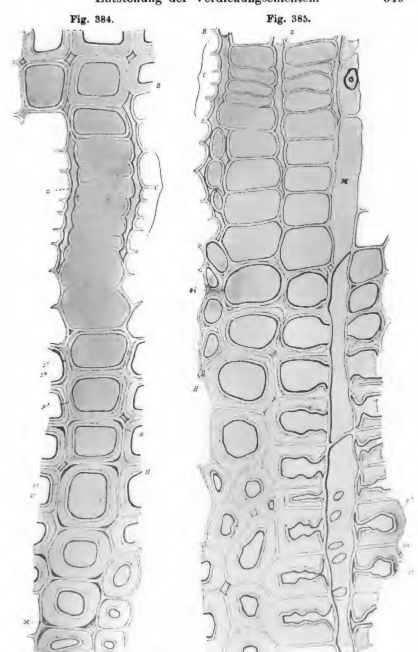


Fig. 384. Querschnitt durch Cambium, Herbstholz und Bast eines alten Stammes. — Fig. 385. Gleiches Präparat, in der Periode genommen, in welcher der Uebergang des Frühlingsholzes in das Herbstholz begonnen hat, nach der Behandlung mit Aetzkalilösung. M. M. Markstrahl. Sonst die Bezeichnung wie bei der vorhergehenden Figur. Vergr. 1 : 500.

Digitized by Google

mittelst eines der anderen) von grossem Nutzen, indem es die mittlere Schicht sofort und überall, wo sie bereits vorhanden ist, durch Quellung derselben auf das Entschiedenste hervortreten macht.

Verfolgt man jetzt die Zellenreihe weiter nach innen, so findet man überall und ohne Ausnahme die innerste Schicht von dem gleichen — natürlich je nach Individualität in geringem unwesentlichen Umfange schwankendem — Ausmaasse. Ihre optische Eigenschaft ändert sich dagegen insofern, als dieselbe nach und nach, d. h. in dem Maasse, als sie älter wird, stärker auf das polarisirte Licht wirkt. Die mittlere, weiche Schicht nimmt von aussen nach innen stetig an Dicke zu, bis sie das bei den Zellen des Frühlingsholzes gewöhnlich zu beobachtende Ausmaass erreicht hat (Fig. 383 *H*).

In dem Baste läuft der geschilderte Verdickungsvorgang in gleicher Weise ab, nur dass die mittlere Schicht gleich von vornherein in bedeutender Breite auftritt und weit rascher zu ihrer endlichen Stärke heranwächst (Fig. 383 und 384 *B*).

Noch weit schärfer, als in dem inneren Theile des Jahresringes treten die geschilderten Entwickelungsvorgänge in dem mittleren Theile, wo der Uebergang des Frühlingsholzes in das Herbstholz stattfindet, namentlich aber in dem äusseren Theile, also bei der Herbstholzbildung, hervor (Fig. 385). Hier kann man sich auf das Allerentschiedenste davon überzeugen, dass die innerste („tertiäre“) die erste innerhalb der Primärwand entstandene Verdickungsschicht bildet, dass sie viel früher vorhanden ist, als von anderen Seiten angenommen wird (Sanio, Pringsheim's Jahrbücher IX, Heft 1, Fig. 3, Taf. VII und 1, Taf. VIII). Das geschilderte Structurverhältniss erscheint hier, wie auch in dem Frühlingsholze, wenn man anders gute, genau senkrecht zur Längsachse der Zelle geführte Querschnitte zur Hand hat und besonders auch nach Anwendung von Aetzkalilösung überall scharf und deutlich ausgesprochen. Auch das Anwachsen der mittleren, weichen Schicht wird hier so zu sagen greifbar. Dieselbe nimmt z. B. nach an acht auf einander folgenden Zellenreihen, in der Mitte der peripherischen Wandstücke ausgeführten Messungen in folgenden Verhältnissen zu: 1. Zelle: unmessbar feine Linie; 2. Zelle: 0,8 Mikr.; 3. Zelle: 1,4 Mikr.; 4. Zelle: 2,36 Mikr.; 5. Zelle: 4,0 Mikr.; 6. Zelle: 5,4 Mikr.; 7. Zelle: 6,07 Mikr.; 8. Zelle: 7,57 Mikr.

Bei der nun im Holze eintretenden chemischen Umbildung, resp. der Verholzung der einzelnen Wandschichten, halten diese verschiedenen Schritt. Durchgängig verfällt, wie das natürlich ist, die primäre Zellwand zuerst diesem Vorgange, dessen Eintreten sich schon an dem optischen Verhalten frischer, d. h. nicht mittelst Reagentien behandelter Schnitte durch das stärker werdende Lichtbrechungsvermögen erkennen, besonders aber durch die Anwendung von Chlorzinkjodlösung, von Jod und Schwefelsäure und die übrigen in dem ersten Abschnitte, Cap. II. Nr. III und 1 genannten, die Verholzung anzeigenden Mittel nachweisen

Digitized by Google

lässt. Im Frühlingsholze zeigt sich die beginnende Verholzung etwa in der dritten bis vierten, hier und da auch in noch weiter nach innen gelegenen Zellen der in Verdickung begriffenen radialen Zellreihen. In dem mittleren Theile der Jahresringe beginnt dieser Process in selteneren Fällen schon mit, meistens erst kurze Zeit nach der Anlage der Verdickung und dann immer in der nächstälteren oder zweiten Zelle derselben radialen Reihe. Verschiedener noch gestaltet sich die Folge der Verholzung in dem Herbstholze. Während in einer Reihe aus diesem entnommener Präparate die Verholzung der primären Zellwand mit Beginn, in einzelnen Fällen sogar erst nach Beginn der Verdickung eintreten kann, tritt dieselbe bei anderen, schon an kurz vorher zu dem Holze übergetretenen, dann auch in den äusseren Schichten rasch verholzenden, jungen Zellen ein. Der Umbildungsprocess verläuft dabei derart, dass er, in den Ecken beginnend, sich zunächst auf die radialen, dann auf die tangentialen Wandstücke verbreitet. Für das Studium der allmäligen Verholzung der mittleren weichen, wie schon früher (S. 135) erwähnt, aus einzelnen gleichartigen, durch die dort erwähnten Mittel sichtbar zu machenden Schichtenblätter aufgebauten Schicht der Verdickung sind namentlich Querschnitte aus dem mittleren und äusseren Theile des Jahresringes recht geeignet. Selten nimmt man, wie dies bei sehr rasch verholzendem Herbstholze so schön zu beobachten ist, in Folge des verschiedenen Lichtbrechungsvermögens den Fortschritt der Verholzung in den verschiedenen Theilen dieser Schicht schon an frischen Querschnitten wahr. Aber die Behandlung mittelst geeigneter Quellungsmittel, insbesondere mit Kalilauge, lässt hier, wie in dem Frühlingsholze, sofort erkennen, dass die Verholzung etwa von der zweiten oder dritten der in Verdickung begriffenen Zellen an beginnt und bei weiterem Dickenwachsthum der betreffenden Schicht ganz allmälig von den äusseren Theilen nach den inneren vorschreitet. Bei der ziemlich starken Quellung, durch welche die innerste, stärker lichtbrechende Schicht zur Einfaltung gebracht wird, werden nämlich die an diese grenzenden Theile der mittleren Schicht stärker ergriffen und nehmen ein dunkleres Aussehen an, als die äusseren, welche in Folge der eingetretenen Verholzung eine geringere Menge der die Quellung hervorrufenden Flüssigkeit zwischen ihre Molecüle aufgenommen haben. Noch überzeugender werden die durch Aetzkalilösung erlangten Resultate, wenn man auf derart behandelte Präparate Chlorzinkjodlösung oder Jod und Schwefelsäure wirken lässt. Bei Anwendung der ersteren färben sich die im Anfange der Verholzung begriffenen äusseren Wandtheile kaum merkbar hellviolett, während die inneren, gleichwie die in der Entstehung begriffene Schicht, röthlichviolett werden. Später, d. h. bei älteren Zellen, tritt in den äusseren Theilen eine röthlichgelbe Färbung ein, welche sich je nach dem Fortschreiten der Verholzung nach und nach über die ganze Mittelschicht ausbreitet. Unter Jod und Schwefelsäure färben sich die in Verholzung begriffenen

Digitized by Google

äusseren Theile zuerst, d. h. bei jüngeren Zellen blassblau bis weisslichblau, dann, je nach dem Alter der peripherischen Zellenreihen fortschreitend grünlich, grünlichgelb und gelb, während die unverholzten Theile tiefblau erscheinen (Fig. 123, S. 199).

Die Innenwand („tertiäre Verdickungsschicht") widersteht der Verholzung am längsten. Erst dann, wenn das Wachsthum der mittleren Schicht vollendet und deren Verholzung nahezu durch deren ganze Masse fortgeschritten ist, beginnt sich jene, nach Behandlung mit den genannten Reagentien, etwa in demselben Tone gelb zu färben, wie die primäre Zellwand (Fig. 123, S. 199).

Für den Verfolg der Entwickelungsgeschichte der secundären Verdickung mehrfach geschichteter Zellwände bieten namentlich die holzigen Clematisarten in ihrem Markgewebe und den primären Bastfaserbündeln ein sehr günstiges Material, da sich an ihnen, wie bei keinem anderen Objecte, die einzelnen auf einander folgenden Vorgänge aus einander legen.

In dem Marke des Stengels von Clematis vitalba lassen sich an recht gelungenen Querschnitten — und hier sind eben nur die zartesten Stellen feiner und senkrecht zur Längsachse geführter Schnitte für den Sachverhalt völlig entscheidend — folgende Thatsachen der Entwickelungsgeschichte feststellen.

So lange die Stengelglieder noch im Längenwachsthum, sonach in der Streckung der Zellen begriffen sind, findet man auf Querschnitten durch das Markgewebe, dessen Zellen nur von der primären Zellwand umgeben (Fig. 386). In jüngeren Stengelgliedern lässt dieselbe noch reine Zellstoffreaction beobachten, während sie sich in älteren, in denen das Längenwachsthum eben vollendet wurde und welche dem Beginne der Verdickung nahe stehen, als schon verholzt zu erkennen giebt. Greift man nun mit den Querschnitten um ein Stengelglied tiefer, gleichviel, ob dieselben an dem oberen oder unteren Ende entnommen werden, so giebt sich die beginnende Verdickung darin kund, dass sich innerhalb der primären Zellwand eine weitere, etwa gleich stark lichtbrechende Wandschicht gebildet hat, welche von ihr durch eine äusserst zarte, oft kaum erkennbare dunkle Linie

Fig. 386.

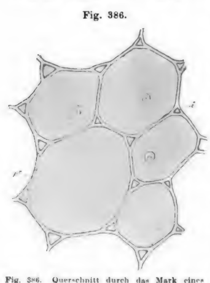


Fig. 386. Querschnitt durch das Mark eines Stengelgliedes, welches eben sein Längenwachsthum vollendet hat. Es ist bloss die primäre Zellwand ausgebildet. Vergr. 1 : 500.

Digitized by Google

getrennt erscheint und mit ihr etwa gleiches Lichtbrechungsvermögen theilt (Fig. 387 I). In diesem jüngsten Zustande lässt sich von vornherein nicht mit Bestimmtheit entscheiden, ob die mittlere Schicht schon vorhanden ist, oder ob die feine Linie eine lufterfüllte Spalte zwischen Primärwand und Verdickungsschicht darstellt. Wendet man aber Aetzkalilösung an, so erkennt man an der durch das nun eintretende, wenn auch geringe Quellen hervorgerufenen Verbreiterung der feinen dunklen Linie deren Vorhandensein. An anderen Präparaten tritt die anfänglich unmessbar feine dunkle Trennungslinie in Gestalt eines minder lichtbrechenden Ringstreifens auf. Untersucht man nun eine grössere Anzahl

Fig. 387.

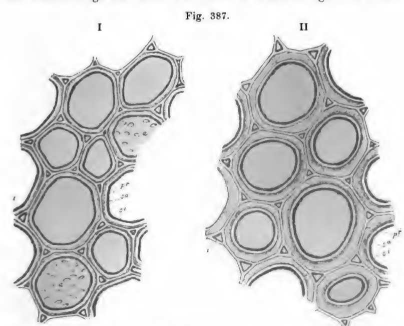


Fig. 387 I. Aehnliches Präparat aus dem nächstfolgenden Internodium mit vollständig ausgebildeter secundärer Doppelschicht. Bei *a a* Querscheidewand mit flachen Poren. — Fig. 387 II. Ein Querschnitt nach mehrtägigem Liegen in Aetzkalilösung ausgewaschen und in Glycerin aufbewahrt.

von Querschnitten aus verschiedenen, aber derselben Entwickelungsperiode angehörigen Stengelgliedern, so gewahrt man, dass der weniger lichtbrechende Ringstreifen bald eine geringere, bald eine grössere, niemals aber diejenige der innersten stärker lichtbrechenden Schicht überschreitende Breite besitzt. Unter Einwirkung von Aetzkalilösung quillt der Ringstreifen, und zwar etwa in dem Verhältnisse, als er an frischen Schnitten schmäler oder breiter beobachtet wurde (Fig. 387 II). Er wird somit leicht als die weichere, wasserreichere, secundäre Wandschicht kenntlich, welche wie bei der Kiefer, wenn auch im Ganzen nur um weniges, in die Dicke gewachsen ist. Damit erscheint die erste Ent-

Digitized by Google

wickelungsperiode in der Verdickung der Zellwand abgeschlossen und es erscheint dieselbe aus der primären Zellwand, einer schwächer lichtbrechenden mittleren und einer wieder stärker lichtbrechenden innersten Schicht bestehend.

Geht man jetzt mit den Querschnitten um ein weiteres Stengelglied abwärts, so zeigt sich in den äusseren und mittleren Zonen des Markes (der innere, später der Auflösung anheimfallende Theil bleibt in der Regel auf der vorigen Entwickelungsstufe stehen) die Anlage der zweiten secundären Schichtengeneration. Die einzelnen Stufen dieser Entwickelungsperiode kann man leicht an Querschnitten von verschiedenen Stengelgliedern, oft aber auch auf demselben Querschnitte verfolgen. Das Entstehen dieser zweiten Generation giebt sich in dem Auftreten einer schmalen, durch eine zarte dunkle Linie von der vorigen Generation getrennte, stärker lichtbrechende Schicht zu erkennen (Fig. 388 I). Oft ist hierbei die weiche, schwächer lichtbrechende

Fig. 388.

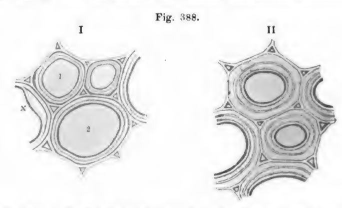


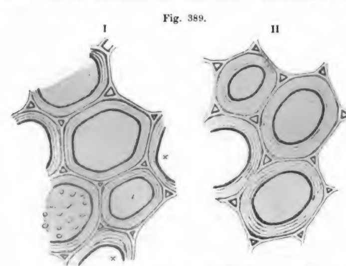
Fig. 388. I und II. Den Fig. 387 I und II entsprechende Querschnitte aus einem nächst älteren Stengelgliede mit zwei secundären Doppelschichten; bei *x* Fig. 388 I die jüngste Generation von den übrigen getrennt. Vergr. 1 : 500.

Schicht so wenig entwickelt, dass die innersten Schichten der ersten und zweiten Generation, an etwas gröberen Schnitten und bei schwächerer Vergrösserung, scheinbar ein einziges Ganzes ausmachen und somit ein in die Breite Wachsen jener vorzuliegen scheint. Scharfe Objective zeigen aber immer die Trennung und es lässt sich diese namentlich auch dann leicht erkennen, wenn in Folge der Präparation die zweite Doppelschicht von der ersten auf eine Strecke weit losgetrennt erscheint (Fig. 388 I bei *x*). Aetzkalilösung bewirkt in der weicheren Schicht wiederum ein mehr oder minder starkes Quellen und lässt auf diese Weise die Trennung ganz unzweifelhaft erscheinen. Weiter fortgeschrittene Entwickelungszustände zeigen die weichere Schicht als minder lichtbrechenden Ringstreifen und die Anwendung von Aetzkalilösung liefert jetzt so instructive Bilder, wie das in der Fig. 388 II dargestellte.

Digitized by Google

In ganz gleicher Weise, wie in dem Voranstehenden dargestellt, verläuft in je älteren Stengelgliedern die Entstehung der dritten, vierten, fünften secundären Schichtengeneration (Fig. 389 I bis III). Hier treten aber insofern Unregelmässigkeiten ein, als einmal in den inneren Theilen der mittleren Zone des Markes eine Zahl von Zellen in der Entwickelung stehen bleibt, zum anderen sich aber hier und da einmal eine Zelle findet, die eine Schichtengeneration mehr gebildet hat, als die übrigen. Von der sechsten Generation ab treten diese Erscheinungen häufiger

Fig. 389.



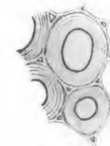


Fig. 389. I bis III. Querschnitte durch das Mark einander folgender je älterer Stengelglieder mit je 3, 4 und 5 secundären Doppelschichten. Vergr. 1 : 500.

auf, indem sich die Zellen oft ungleichmässig verdicken, so dass in älteren Stengelgliedern dann neben Zellen mit 8 bis 10 Schichtengenerationen solche mit nur 4 bis 6 auftreten.

Aehnlich wie in dem Marke geht auch die Verdickung in den Zellen der primären Bastfaserbündel vor sich. Indessen schreitet hier die Entwickelung, welche in demselben Stengelgliede beginnt, wie diejenige der Markzellen, nicht in der raschen Folge fort, wie bei diesen, denn häufig findet man in Internodien, deren Markzellen schon zwei und drei secundäre Doppelschichten gebildet haben, noch sämmtliche Bastfasern mit nur einer secundären Doppelschicht. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass sich in den Zellen des primären Bastbündels die weichere Schicht der secundären Verdickung schon von vornherein in bedeutenderer Mächtigkeit entwickelt und später stärker

Digitized by Google

verdickt, als in den Markzellen (Fig. 390 II). Man kann die Entwickelung hier mit Sicherheit bis zur zweiten Schichtengeneration der secundären Verdickung, die, weil sich schon frühzeitig die primären Korkplatten einschieben, wohl nur selten überschritten wird, verfolgen, und mögen die in den Fig. 390 wiedergegebenen betreffenden Entwickelungen folgen.

Fig. 390.

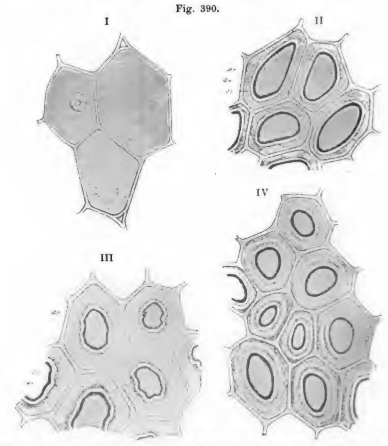


Fig. 390. I Querschnitt durch das junge primäre Bastfaserbündel mit noch unverdickten primären Zellwänden. — II desgleichen aus einem Stengelgliede, in welchem die erste secundäre Verdickung des Markes entwickelt war. — III ein solches Präparat nach der Behandlung mit Aetzkalilösung. — IV Querschnitt durch denselben Gewebetheil aus einem Stengelgliede, in welchem sich eben die primären Korkplatten einzuschieben beginnen. Vergr. 1 : 500.

Den eben betrachteten mehrschichtigen Verdickungsformen von Parenchym- und Bastzellen schliessen sich auch manche Holzfasern an. Da aber in dem betreffenden Gewebe die Zellbildung in anderer Folge vor sich geht, als in dem Marke und dem primären Bastfaserbündel und demgemäss die Zellen von dem Cambium aus nach innen

Digitized by Google

hin stetig an Alter zunehmen, so muss die in gewissem Sinne der von Pinus silvestris sich anschliessende Entwickelungsweise der Verdickung an entsprechenden Querschnitten durch die in der Ausbildung begriffenen Holztheile älterer Stengelglieder vorgenommen werden.

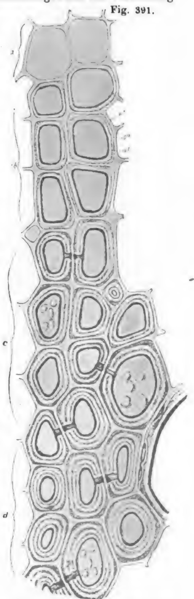


Fig. 391. Querschnitt durch das junge Holz eines ziemlich alten Stengelgliedes. Bei *a* unverdickte Holzfasern. Bei *b* solche mit 1, bei *c* mit 2, bei *d* mit 3 secundären Schichten. Vergr. 1 : 500.

Bei Clematis vitalba, deren Holzfasern in älterem Holze in der Regel bis drei secundäre Schichtengenerationen zeigen, vollzieht sich die Entstehung dieser folgendermaassen: Nach innen von dem Cambium treten auf dem Querschnitte in der Regel ein oder zwei, hier und da wohl auch mehr in radialer Dehnung begriffene, bloss von der primären Zellwand umschlossene junge Holzzellen auf (Fig. 391 bei *a*). Dann folgt die Anlagerung der ersten secundären Verdickung in der Weise, wie es bei Pinus silvestris, bei den Markzellen von Clematis vitalba u. s. w. festgestellt wurde.

In den nächsten zwei bis drei, weiter nach innen gelegenen pheripherischen Zellreihen erhält sich dieses Verhältniss bei gleichzeitig fortschreitendem, nur sehr geringem Dickenwachsthum der weichen Schicht (Fig. 391 *b*). Dann treten in den folgenden zwei bis vier Zellenreihen zwei und noch weiter nach innen drei deutlich sichtbare secundäre Doppelschichten auf, womit die Gesammtverdickung mit wenigen Ausnahmen vollendet erscheint (Fig. 391 *c* u. *d*).

II. Entstehung der Verdickungsformen.

1. Entstehung der spiraligen und netzförmigen Verdickung.

Die Entstehung der spiraligen sowohl, als der netzförmigen Verdickung steht nach meinen früheren, sowie späteren Beobachtungen mit den Wand-

Digitized by Google

strömchen des Protoplasmas*) im engsten Zusammenhange. Eine ausführliche Darlegung der Entwickelungsgeschichte habe ich an anderem Orte (Abhandlungen der naturforschenden Gesellschaft in Halle 1866)

Fig. 392.

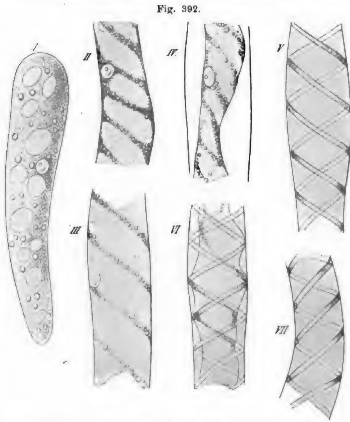


Fig. 392. Entwickelungsgeschichte des Spiralbandes der Schleuderzellen von Fegatella conica. I Junge Schleuderzelle mit Stärkekörnern und sich eben bildenden Vacuolen. II Stück einer etwas älteren Zelle, in der sich die Vacuolen so vergrössert haben, dass nur noch schmälere die Stärkekörner mitführende Protoplasmastreifen bleiben, die bei III in spiralige Protoplasmabänder (Protoplasmaströmchen) übergehen. IV Mittelstück einer Zelle wie bei III mit schwacher Zuckerlösung behandelt, worauf der Zellleib nebst den Protoplasmaströmchen zusammengefallen ist. V Theil einer Schleuder, in der das Verdickungsband sich eben zu bilden begonnen hat. VI ähnlicher Zustand nach der Behandlung mit Zuckerlösung. VII Mittelstück einer völlig ausgebildeten Schleuder mit schon verholztem Spiralbande. Vergr. 1 : 660.

mitgetheilt. Hier muss ich mich auf die einfache Andeutung der Stufenfolge im Entwickelungsgange beschränken, und kann nur die einschlägigen Untersuchungen als einen wichtigen, wenn auch schwierigen

*) Man kann diese Bezeichnung auch dann beibehalten, wenn sich die Beobachtungen Crato's (Berichte der deutsch. botan. Gesellschaft 1892, Botan. Zeitung 1893 und Cohn's Beiträge, Bd. VII, Heft 3) bestätigen sollten, würde dann aber den Begriff anders aufzufassen haben.

Digitized by Google

Zweig sowohl an lebendem Materiale als mit Benutzung der Härtungs- und Färbemethoden auszuführender mikroskopischer Beobachtung empfehlen.

Als die geeignetsten Objecte zu derselben möchten sich wohl die Schleuderzellen der Lebermoose erweisen, und hat man dieselben von ihrer ersten Differenzirung an bis zur völligen Ausbildung des Spiralbandes zu studiren. Gleich brauchbare Objecte bieten sich in den Spiralfaserzellen aus der Kapselwand der Lebermoose, sowie aus der Wand der Antheren, in denen die Ablagerungsschichten erst dann entstehen; wenn dieselben schon ein ziemlich grosses Volumen erreicht haben. Die Antheren der Lilien sowie des Kürbis sind wegen ihrer Grösse und leichten Beschaffbarkeit besonders empfehlenswerth. In den Gefässzellen, wo die Spiralfasern schon sehr früh in den jüngsten Internodien entstehen, ist die Beobachtung, wenn irgend möglich, immer höchst schwierig durchzuführen. Ein geeignetes Material bieten jedoch solche Pflanzen, wo die bezüglichen Verdickungsschichten auch noch in späteren Stadien entstehen, wenn die betreffenden Zellen schon eine ziemlich bedeutende Ausdehnung erreicht haben. Dieses ist namentlich der Fall bei den weiten Spiralgefässen der Gartenbalsamine, ebenso bei den netzförmigen Gefässen dieser Pflanze und der Datura suaveolens.

Die Schleuderzellen in der jungen Frucht von Fegatella conica sind, so lange sie noch wenig in die Länge gestreckt erscheinen, vollständig mit kleine Stärkekörnchen einschliessendem — nach der Auffassung Crato's — aus wabenartig verbundenen, in den kleinen, zwischen ihnen bleibenden Zwischenräumen wässerigen Zellsaft führenden Plastinlamellen bestehendem Protoplasma erfüllt; sobald die Streckung etwas weiter fortschreitet, entstehen in dem letzteren grössere und kleinere, sich später zu einem centralen vereinigende Safträume, in denen man schon eine Andeutung der Richtung der späteren Wandströme erkennt (Fig. 392, I). Zellen in einem Entwickelungsstadium der Fig. 392, II u. III zeigen eine entschieden spiralige Anordnung des wandständigen Protoplasmas, wobei sich in der feinkörnigen Masse nur noch kleinere, vereinzelte Stärkekörner befinden, die allmälig verschwinden, so dass der langsam sich bewegende Wandstrom nun aus einer feinkörnigen, beziehentlich scheinbar feinkörnigen Masse besteht, während die zwischen den Bändern liegenden Theile mehr und mehr körnerlos (physodenfrei) werden. Lässt man auf solche Entwickelungszustände ein endosmotisches Reagens wirken, so zieht sich der lebendige Zellleib zusammen, ohne dass die beschriebene Anordnung eine wesentliche Störung erleidet (Fig. 392, IV). Etwas spätere Zustände lassen das aus Zellstoff bestehende zarte Spiralband in schwachen Umrissen erkennen (Fig. 392, V) und es bleibt dasselbe als homogene, bandartige Schicht an der Zellwand haftend, wenn man den lebendigen Zellleib von derselben ablöst (Fig. 392, VI). Nach einiger Zeit verschwindet der körnige Inhalt vollständig und es hat dann das doppelte Spiral-

Digitized by Google

band seine Ausbildung erreicht (Fig. 392, VII). In ganz ähnlicher Weise, wie bei Fegatella conica, erfolgt die Bildung des Spiralbandes in den Schleudern der Pellia epiphylla.

Als ein weiteres Beispiel der hier in Frage kommenden Entwickelungsvorgänge füge ich noch in den Figuren 393, I bis VII und 394,

Fig. 393.

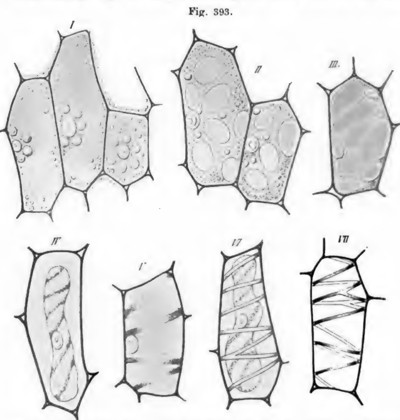


Fig. 393. Entwickelung der secundären Verdickung der Kapselwandzellen von Marchantia polymorpha. I Zellen, in denen das um den Kern gelagerte Chlorophyll noch vollständig erhalten und das Protoplasma mit kleinen Körnern gleichmässig über die Zellwand verbreitet ist II Zellen, in denen das Chlorophyll verschwunden ist und in dem kleinere Stärkekörner enthaltenden Wandbelege des Protoplasmas rundliche Vacuolen entstanden sind. III Zelle mit zu schmalen Bändern entwickeltem Wandbelege, in welchem nur noch ganz kleine Stärkekörnchen enthalten sind. IV ähnlicher Entwickelungszustand mit Zuckerlösung behandelt, wodurch der Zellleib mit dem Inhalte, der noch die spiralstreifige Protoplasmaanordnung zeigt, zusammengefallen ist. V Zelle, in der die Entwickelung der Zellstoffabscheidung der Spiralbänder begonnen hat. VI ähnlicher Zustand mit Zuckerlösung behandelt, wodurch der Zellleib von der die spiralige Verdickung zeigenden Zellwand zurückgezogen wurde. VII vom Inhalte entleerte Zelle mit vollständig entwickelten secundären Verdickungsbändern. Vergr. 1 : 800.

I bis III die Entstehung der Verdickungsschichten in den Zellen der Kapselwand von Marchantia und in den netzförmigen Gefässzellen der Balsamine bei, worüber die Erklärung der betreffenden Figuren den

Digitized by Google

erforderlichen Aufschluss gewähren wird, und verweise für das Weitere auf meine angezogene Arbeit.

Für die Beobachtung der Entwickelungsgeschichte an diesen, den oben genannten und ähnlichen geeigneten Pflanzen sind nicht zu zarte, unverletzte Zellen enthaltende Schnitte parallel mit der Achse der Kapsel und quer durch die Antheren, sowie ähnlich beschaffene Längsschnitte

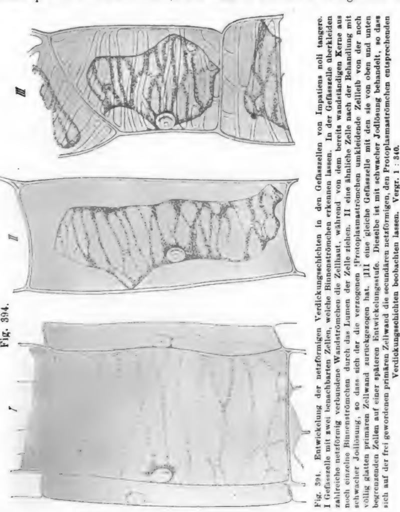


Fig. 394. Entwickelung der netzförmigen Verdickungsschichten in den Gefässzellen von Impatiens noli tangere. I Gefässzelle mit zwei benachbarten Zellen, welche Binnenströmchen erkennen lassen. In der Gefässzelle überkleiden zahlreiche netzförmig verbundene Wandströmchen die Zellhaut, während von dem bereits wandständigen Kerne aus noch einzelne Binnenströmchen durch das Lumen der Zelle ziehen. II eine ähnliche Zelle nach der Behandlung mit schwacher Jodlösung, so dass sich der die verzogenen Protoplasmaströmchen umkleidende Zellleib von der noch völlig glatten primären Zellwand zurückgezogen hat. III eine gleiche Gefässzelle mit den sie von oben und unten begrenzenden Zellen auf einer späteren Entwickelungsstufe. Dieselbe ist mit schwacher Jodlösung behandelt, so dass sich auf der frei gewordenen primären Zellwand die secundären netzförmigen, den Protoplasmaströmchen entsprechenden Verdickungsschichten beobachten lassen. Vergr. 1 : 340.

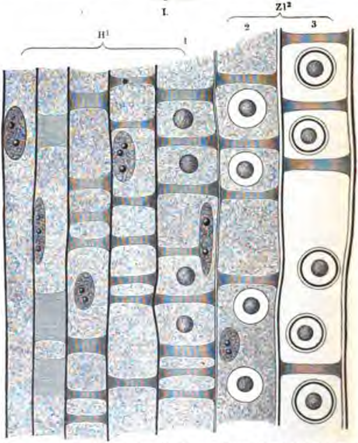
aus dem Stengel der entsprechenden Pflanzen zu nehmen. Als Zusatzflüssigkeit empfehlen sich die Handbuch S. 695 und Grundzüge S. 311 genannten, unter Umständen auch 1 Proc. Zuckerlösung und 1—3 Proc. Salpeterlösung weil schon die geringste Störung im Inhalte der Zellen die Beobachtung beeinträchtigt.

Digitized by Google

2. Entstehung der behöften Poren.

Die Entwickelungsgeschichte der behöften Poren (Hoftüpfel), bei deren Beobachtung vor allem diejenigen Erscheinungen auszuschliessen sind, welche in den noch nicht hinlänglich gefestigten Gewebetheilen und einzelnen Zellen durch die Präparation veranlasst werden und zu unrichtigen Auffassungen führen können, wie sie z. B. in manchen

Fig. 395.



Figuren Russow's hervortreten (vergl. u. a. Botan. Centralbl. Bd. XIII, Holzschnitt 1, S. 32 und Fig. 4 und 5, Taf. I), sorgfältig auszuschliessen sind, ist erst in der neueren Zeit durch die einschlägigen Beobachtungen von Schacht angeregt, aber trotz mehrerer neueren derselben gewidmeten Arbeiten in ihren schwer festzustellenden Einzelheiten noch nicht vollständig aufgeklärt worden. Man studirt dieselbe für die

Digitized by Google

Hofporen der Längswände der betreffenden Zellenarten mit dem meisten Erfolge in der Cambiumschicht von Wurzeln, Stämmen oder kräftigen Aesten älterer lebender Bäume unserer Nadelhölzer, von denen man sich, ohne dieselben zu schädigen, mittelst Einschneiden und Ausstämmen leicht und zwar um die Vorgänge, wie sie sich in den verschiedenen Theilen des Jahresringes: Frühlings-, Sommer- und Herbstholz, abspielen, zu erkennen, zu verschiedenen Zeiten der Vegetationsperiode entnommene, passende Abschnitte verschaffen kann. Bei diesen sind nämlich bei den weitlumigen Holzfasern die einzelnen Bestandtheile des Gebildes verhältnissmässig sehr gross und leicht übersehbar. Zarte Quer-, Radial- und Tangentenschnitte, welche man, um eine möglichst lückenlose Reihe der Entwickelungsstufen zu erhalten, zunächst von zur Zeit des lebhaftesten Wachstums gesammeltem, frischem oder in Alkohol aufbewahrtem, unter Umständen auch eingebettetem (Handb. S. 772 u. f., Grundz. S. 371 u. f.) Material entnimmt und je nachdem der Einwirkung der Zellstoffreagentien oder geeigneten Färbeflüssigkeiten unterwirft, werden die erforderliche Auskunft gewähren. Die beiden ersteren lassen dann bisweilen schon auf ein und demselben Quer- oder Radialschnitte, und zwar auf letzterem alle Entwickelungsstufen von dem ersten Auftreten des Primordialtüpfels Sanio's bis zur Vollendung der Poren erkennen (Fig. 395, I und II). Die Tangentialschnitte müssen dagegen in lückenloser Aufeinanderfolge von dem Jungleaste aus durch die Cambiumregion bis zu dem aus ihre vollständige Wandverdickung zeigende Zellen gebildeten Jungholze geführt werden, um die verschiedenen Entwickelungsstufen vor sich zu haben.

Fig. 395.

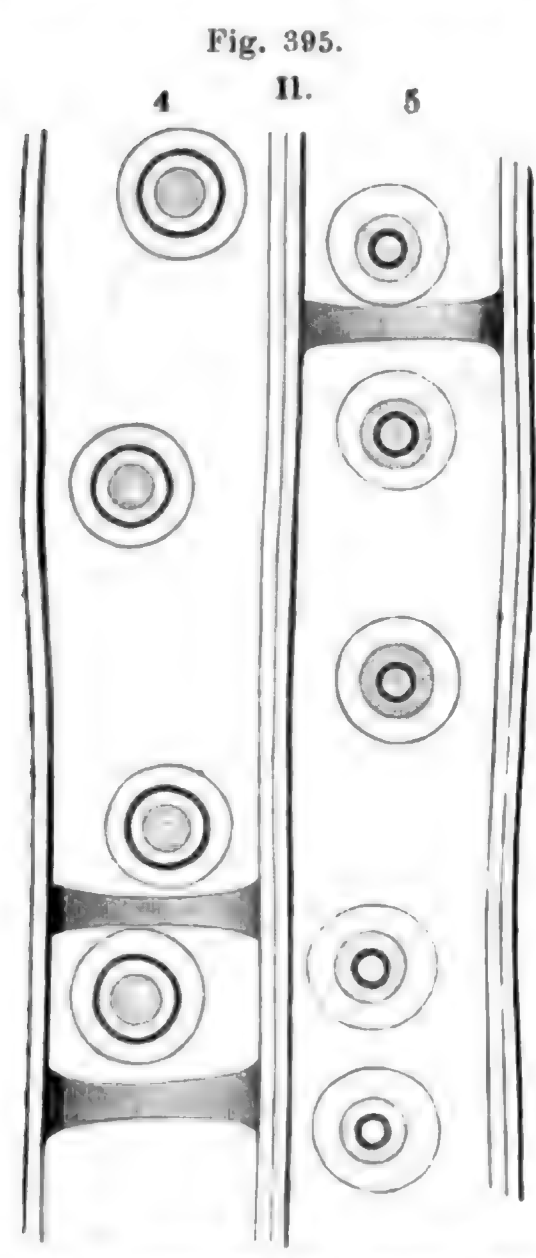


Fig. 395. Entstehung der behöften Poren der Holzzellen von Pinus silvestris. I radialer Längsschnitt durch das in den jüngsten Zellen H^1 nur die cambialen Wände zeigende Jungholz der ersten Entwickelungsperiode mit den drei ersten Entwickelungsstufen 1, 2, 3. II Desgleichen zwei weitere Entwickelungszustände 4 und 5. Vergr. 1 : 550.

Eine lückenlose Uebersicht der Entwickelungsschicht erlangt man am leichtesten auf dem Radialschnitt (Fig. 395). Dieser zeigt auf den Längswänden der dem Cambium zunächst gelegenen, nur erst von der Cambialwand umkleideten Jungholzzellen, und zwar an Material aus der früheren

Digitized by Google

Entwickelungsperiode (erstes Frühlingsholz), seltener und weder über die ganze Länge der Zellwand verbreitete noch an allen Zellen desselben Präparates oder an allen aus demselben Stammanschnitte hergestellten Schnitten auftretende, keine scharfe Begrenzung besitzende, nach den tangentialen Wandungen etwas nach oben und unten ausgebogene, an jüngeren Zellen blasse, kaum erkennbare, breite, einander mehr genäherte (zweite Zelle der Figur 395), an den nächst älteren (dritte und vierte Zelle) allmälig mehr aus einander tretende, schmäler und deutlicher hervortretende, an den die Längsstreckung vollendet habenden, bald weiter von einander entfernte, bald mehr, bisweilen bis zum Verschmelzen genäherte, etwa 5 bis 8 μ breite Bänder. Letztere, welche nicht etwa mit angeschnittenen — übrigens schmäleren — Wänden der jugendlichen Strahlengewebezellen verwechselt werden dürfen und sich bei Behandlung einer Lösung von Rutheniumroth oder Hämatoxylin dunkler färben als die übrige Zellwandfläche, erscheinen vermöge der Lichtbrechungsverhältnisse bei höherer Einstellung gleichartig glänzend, der Zwischenraum dunkel, während bei tiefer Einstellung eine Umkehrung der Lichtverhältnisse eintritt. An einer der nächsten, ihren vollen radialen Durchmesser erreicht habenden Zellenreihe treten, wo diese vorhanden sind, zwischen den weiter entfernten Bändern, sonst an gewissen Stellen der glatten Cambialwand, eine — bei breiteren Wandflächen auch zwei — kreisförmige, bisweilen auch eine mit der grössten Achse radial gerichtete elliptische, anscheinend körnige — nicht etwa mit aus angeschnittenen Strahlengewebezellen in die Jungholzzellen gefallenen, sich durch ein dichteres Gefüge kenntlich machenden Zellkernen zu verwechselnde —, die Anlage des Polsters (Torus) bildende Scheiben auf (Fig. 395, I. 1). Weiter nach innen gelegene Zellen, die jetzt ihre Primärwand erhalten haben, während das Polster (Torus) als eine immer noch körnige Scheibe erscheint, lassen einen dieses umfassenden, dem Umfange des künftigen Hofraumes entsprechenden, einfach umgrenzten Kreis erkennen (Fig. 395, I. 2). Innerhalb seiner Umgrenzung zeigt eine hellere Ringzone das Ausbleiben der Abscheidung der Primärwand innerhalb der Cambialwand an dieser Stelle, wie über dem Torus an. Noch ältere Jungholzzellen zeigen den Hofraum von einem schmalen, homogenen, doppelt begrenzten Zellstoffringe umgeben (Fig. 395, I. 3). Von hier ab tritt in den sich folgenden Altersstufen eine meist sehr schnell verlaufende Verbreiterung des Zellstoffringes, d. h. der Hofwand, ein, bis dieselbe ihre volle Breite erlangt hat und der Porencanal als eine das auch jetzt noch ein körniges Aussehen zeigende Polster (Torus) an Durchmesser mehr oder weniger nachstehende Oeffnung gebildet (Fig. 395, II. 3 und 4) und die Hofporen vollendet sind (Fig. 397). Ihre Entwickelung beginnt mit dem Auftreten der körnig umgrenzten Kreise, beziehentlich Ellipsen, innerhalb des von Sanio u. A. als Primordialtüpfel bezeichneten Zwischenraumes der Querbänder, welche zu der-

Digitized by Google

selben in keiner unmittelbaren Beziehung stehen. Diese, wie nochmals hervorgehoben werden soll, nicht immer auftretenden Bänder verdanken ihre Entstehung der unter Nr. I, Fig. 383 bis 385, S. 547 und 549 betrachteten Zwischensubstanz zwischen den Cambialwänden der Cambium-Jungholz- und -Jungbastzellen. Auf dem Tangentialschnitte erkennt man an höchst gelungenen Stellen, wo sie genau im Querschnitt getroffen worden sind, dass dieselben nicht homogene Knoten bilden, sondern dass eine innere schwächer lichtbrechende Masse seitlich von zwei, von der Cambialwand ausgehenden, dieser angehörenden, stärker lichtbrechenden Wandstücken begrenzt werden (Fig. 396 A u. B). Das spätere Verhalten dieser Bildung kann je nach Umständen ein verschiedenes sein. Wird die Zwischensubstanz vollständig aufgesogen, dann verschwindet dieselbe während der Ausbildung der Zellwand, in anderen Fällen kann dieselbe auch in den Zellen selbst älterer Jahresringe — wenigstens zum Theil — noch verblieben sein und namentlich durch Behandlung der Schnitte mittelst einer Lösung von Rutheniumroth oder Hämatoxylin leicht nachgewiesen werden, indem in den Querbändern die gleichen Färbungen wie an dem Polster auftreten (Fig. 397). Auf dem Radialschnitte erscheinen sie im letzteren Falle als breitere oder schmälere rothe Bänder zwischen den Hofporen (Fig. 397). Auf dem Tangentialschnitte stellen sich dieselben als knotenartige Verdickungen der Intercellularsubstanz zwischen den Durchschnitten der Hofporen dar. Diese gedachte Reaction beweist, dass die Querbänder nicht der Primärwand, sondern der Cambialwand und der von ihr eingeschlossenen Zwischensubstanz angehören. Ausser der Aufklärung über die „Knötchen" bietet der Tangentialschnitt für die weitere Entwickelung der Hofporen im Wesentlichen die gleichen Resultate, wie der Querschnitt, aber die Herstellung guter

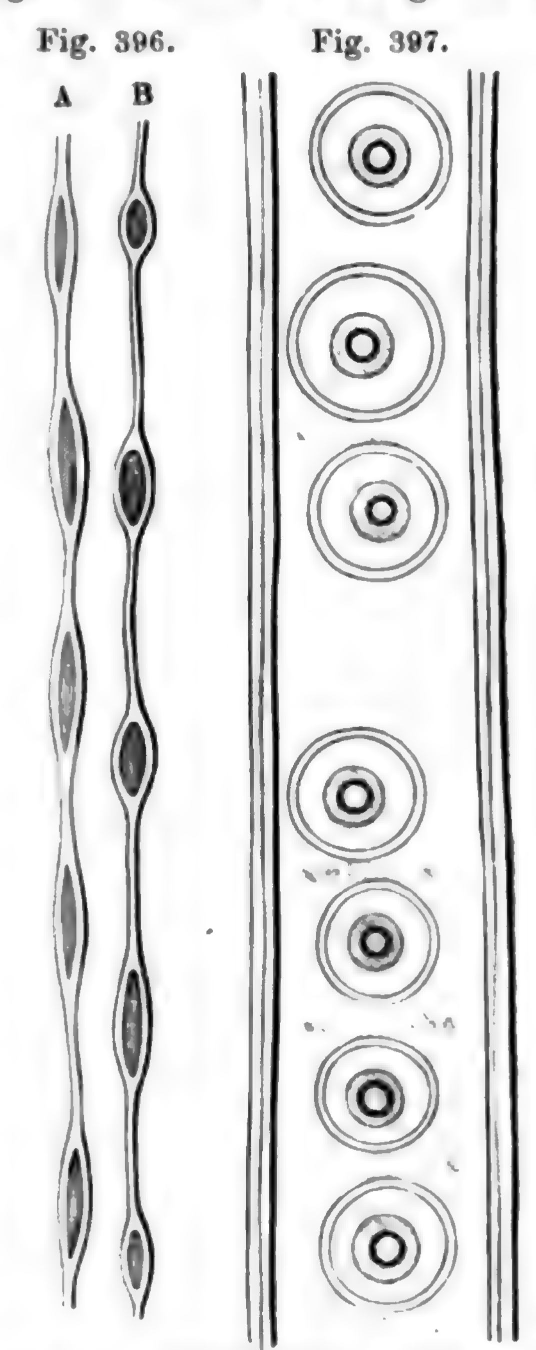


Fig. 396. Tangentialschnitt durch die cambiale Längswand *A* einer jüngeren, *B* einer älteren Holzzelle von Pinus silvestris. Vergr. 1 : 800.

Fig. 397. Aus dem radialen Längsschnitt durch den inneren Theil eines älteren Jahresringes. Vergr. 1 : 550.

Digitized by Google

Fig. 398.

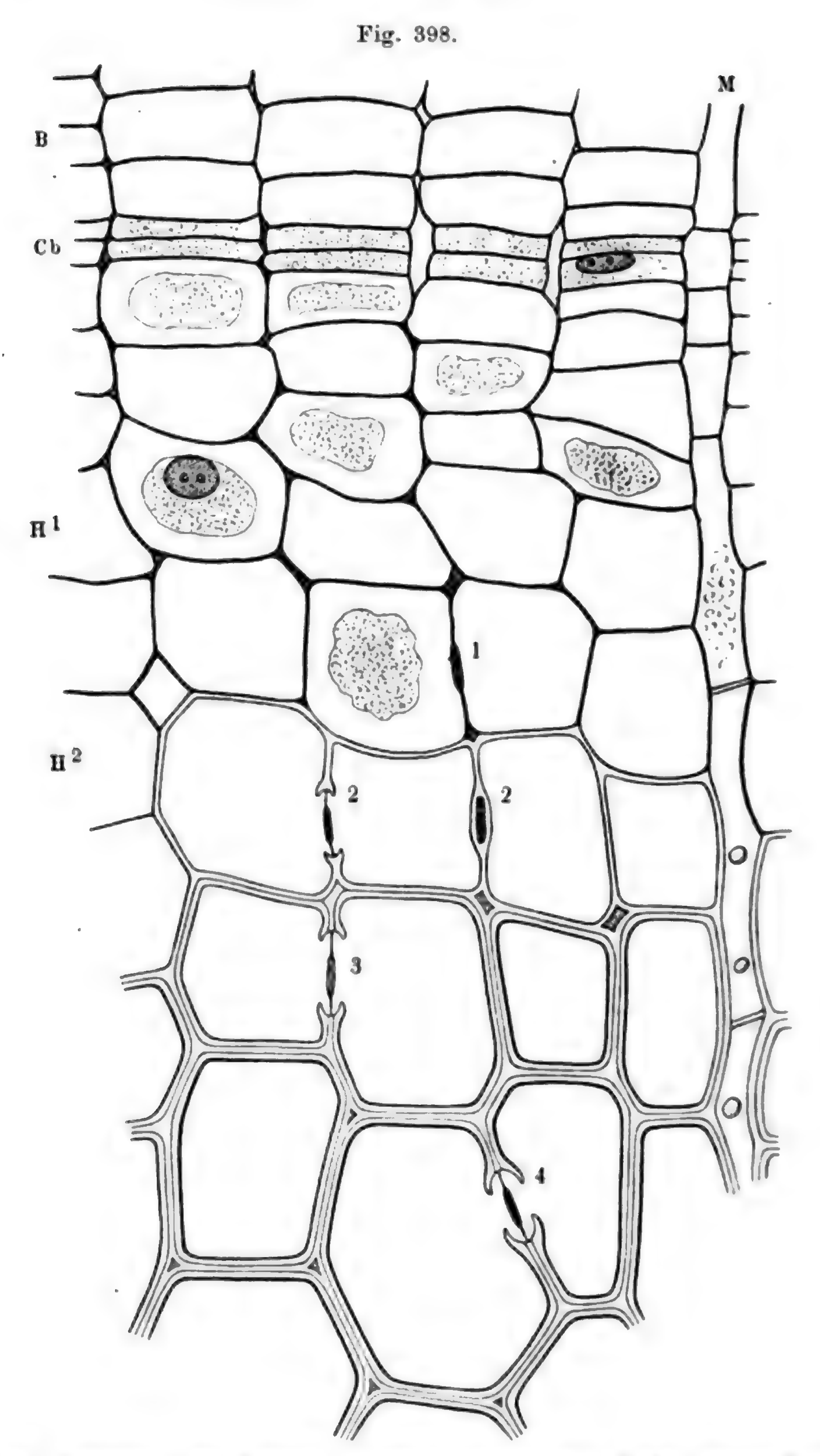


Fig. 398. Querschnitt durch Jungbast, Cambium und Jungholz von Pinus silvestris. *B* Jungbast, *Cb* Cambiumtochterzellen, H^1 Jungholz mit Cambialwand, H^2 desgl. von Entstehung der Primärwand ab. 1, 2, 3, 4 Entwickelungszustände der Hofporen. Vergr. 1 : 550.

Digitized by Google

aufschlussgebender Präparate an nicht eingebettetem Material bietet noch grössere Schwierigkeit als dieser.

Querschnitte durch die Zuwachsregion gewähren unter Umständen an ein und demselben Schnitte oder durch Verknüpfung der Ansichten verschiedener Schnitte, was wohl am häufigsten erforderlich werden wird, folgende Bilder der Entwickelung. Wo die Zwischensubstanz zwischen sämmtlichen Cambialwänden nicht, wie bei sehr kräftiger Entwickelung des Jungholzes, sehr rasch gelöst wird, wobei sämmtliche cambialen Wände etwa gleiche Dicke zeigen (Fig. 398 H^4), sondern bis tiefer in die radialen Reihen der cambialen Jungholzzellen erhalten bleibt (Fig. 402 auf S. 571), da bemerkt man doch meist einzelne Zellwandreihen, bei denen dieselbe bis auf die, wie im anderen Falle in den Ecken zwischen drei und vier zusammenstossenden Zellen noch vorhandenen, sogenannten Intercellularzwickel geschwunden ist und die Cambialwände zweier Nachbarzellen zu einer verhältnissmässig dünnen homogenen Wand verschmolzen erscheinen (Fig. 398 bei H^1). Wir haben darin den Querschnitt der Zwischenräume zwischen den Querbändern des Radialschnittes. An diesen Wänden beobachtet man hier und da eine nach beiden Schwesterzellräumen vertretende, sich durch Ruthenium anfangs etwas schwächer als diese später gleich stark sich färbende Auflagerung (Fig. 398 bei H^1), in der wir das jetzt schon fertig gebildete Polster (den „Torus") der Schliesswand vor uns haben*). Weiter nach innen gelegene Zellreihen, welche, wie sich durch Beobachtung in polarisirtem Lichte nachweisen lässt, bereits ihre Primärwand gebildet haben, zeigen auf einzelnen Radialwänden letztere nach aussen und innen vor dem jetzt, wie am fertigen Poren nicht auf das polarisirte Licht wirkenden, also gleich der Cambialwand aus einer einfach brechenden Substanz bestehenden Polster rechtwinklig oder auch mit einer schwachen Ausbiegung nach den Zellräumen der betreffenden Nachbarzellen abbrechend (Fig. 398 bei H^2) und so die Anlage des Hofraumes einleitend. In der nächst älteren tangentialen Zellreihe ist bereits die stärker lichtbrechende Innenschicht (Innenhäutchen, tertiäre Membran der Autoren) und ein schmaler Streifen der schwächer lichtbrechenden Schicht der secundären Verdickung angelegt. Erstere in Gestalt einer vorspringenden Falte biegt dabei nach der Hofraumanlage um und legt sich fest und ohne eine Trennungslinie erkennen zu lassen an die Primärwand an, während die weichere Schicht daselbst zwischen Primär- und Innenwand etwas verstärkt erscheint (Fig. 398 bei 3). Quellung mittelst Kalilauge macht diese Verhältnisse etwas deutlicher (Fig. 399 a. f S.) **).

*) In den äusseren Theilen der Jahresringe kann, soweit meine bisherigen Beobachtungen reichen, diese Entwickelungsstufe event. ausfallen, so dass die Anlage des Torus und der Primärwand zugleich erfolgen.

**) Wird auf derartig behandelte Präparate Jodkaliumlösung und Schwefelsäure angewendet, so ergeben sich ähnliche Bilder, wie die Thussow's in Fig. 6 bis 8, Taf. I im Botan. Centralblatt, Bd. XIII.

Digitized by Google

Durch das Vordringen der Ringfalte der — wie jede einzelne Wandschicht — durch Intussusception weiter wachsenden Innenwand und weiter fortgeschrittenen Entwickelungszustände von Hofraum und Porencanal giebt die Fig. 398 bei 4, sowie Fig. 115, I B und II auf S. 186 wieder und bedürfen dieselben im Anschlusse an das bei der Entwickelung der Wandverdickung auf S. 547 u. f. Dargelegte keiner weiteren Erörterung. Durch Färbung mittelst Rutheniumroth oder Hämatoxylin — namentlich bei Verwendung eines breiten Lichtkegels („Beobachtung im Farbenbilde") — lässt sich an allen Entwickelungszuständen (Fig. 400, 1 und 2 und 140, II, S. 220) weiter feststellen, dass der Verschluss der Hofporen durch die auch hier verbleibende, den Rand oder Margo Russow's bildende Cambialwand und das ihr in der Mitte des Hofraumes aufgesetzte Polster („Torus") gebildet

Fig. 399. Fig. 400.

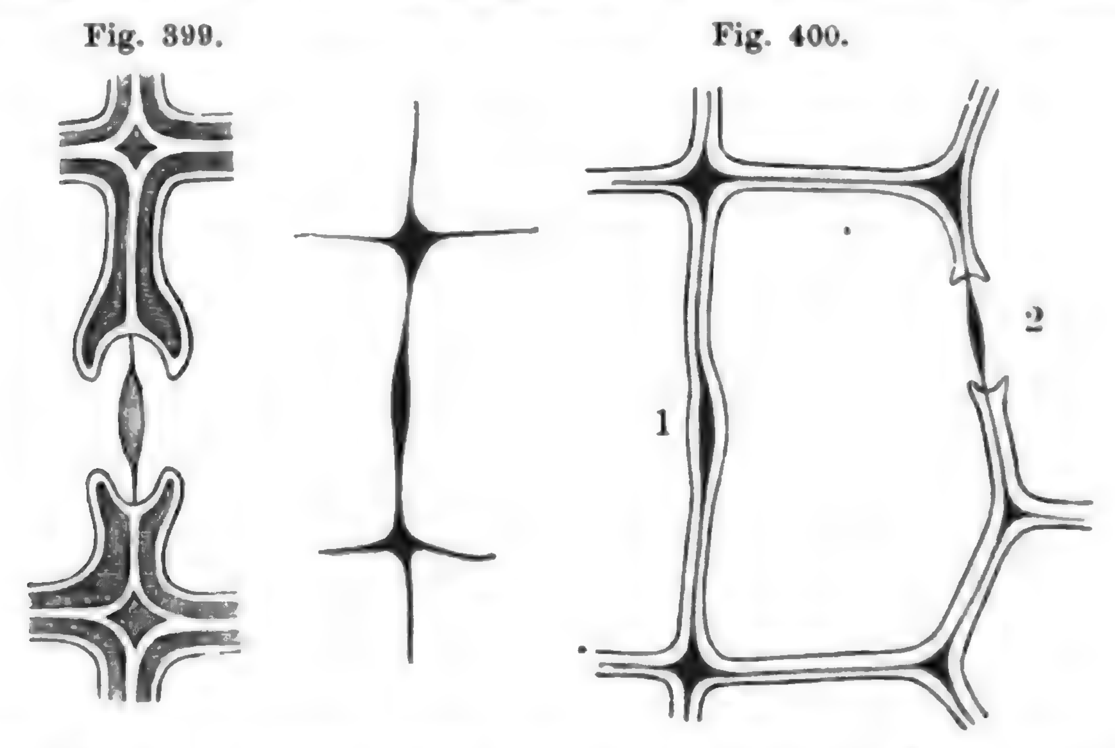


Fig. 399. Ein sich entwickelnder Hofpore mit Kalilauge behandelt. Vergr. 1 : 1000. — Fig. 400. 1 und 2 Zwei Entwickelungsstufen der Hofporen von Pinus silvestris entsprechend den Querschnittsansichten von 1 und 2 der Fig. 398 nach Behandlung eines Querschnittes mit Rutheniumroth. Vergr. 1 : 1000.

wird (Fig. 140, II, S. 220), und dass dabei von einer Verdünnung mittelst Lösungserscheinungen abgesehen werden kann.

Die Entwickelung der quergestreckten Hofporen lässt sich am besten an jungen Sprossen des Wurzelstockes von Pteris aquilina, sowie an sich entwickelnden Wedelstielen tropischer Farrenkräuter (Alsophilo, Cyathea, Angiopteris u. a.) verfolgen. Als Beispiel möge hier, von ausführlicher Figurenerklärung begleitet, die bildliche Darstellung eines früheren und eines fertigen Zustandes der Treppengefässe von Pteris aquilina (Fig. 401, I und II) genügen. Färbungen mittelst Rutheniumroth oder auch Doppelfärbungen mittelst Cyanin-Eosinlösung werden auch hier über die Verhältnisse der Schliesshaut die erwünschte Aufklärung geben, da dieselben an ungefärbten Präparaten ziemlich schwer erkennbar sind.

Digitized by Google

Für die Entstehungsgeschichte der grossen Poren, vermittelst welcher die Gefässscheidewände durchbrochen werden, eignen sich namentlich die Esche, die Felsenbirne sowie der Ahorn u. s. w., und zwar wählt man am besten die engeren in dem äusseren Theile des Jahresringes sich entwickelnden Gefässe.

Die Entwickelungsgeschichte der einfachen Poren stimmt in mancher Beziehung mit der der behöften überein. Hier geben — wie man sich an der Entwickelung der Poren des Sameneiweisses von Liliaceen und Irideen, sowie der Markzellen von Clematis überzeugen kann — die frühesten Entwickelungszustände, welche der Ablagerung der ersten secundären Verdickungsschicht vorausgehen, den erforderlichen Aufschluss und beweisen, dass die Anlegung des meist etwas erweiterten

Fig. 401.

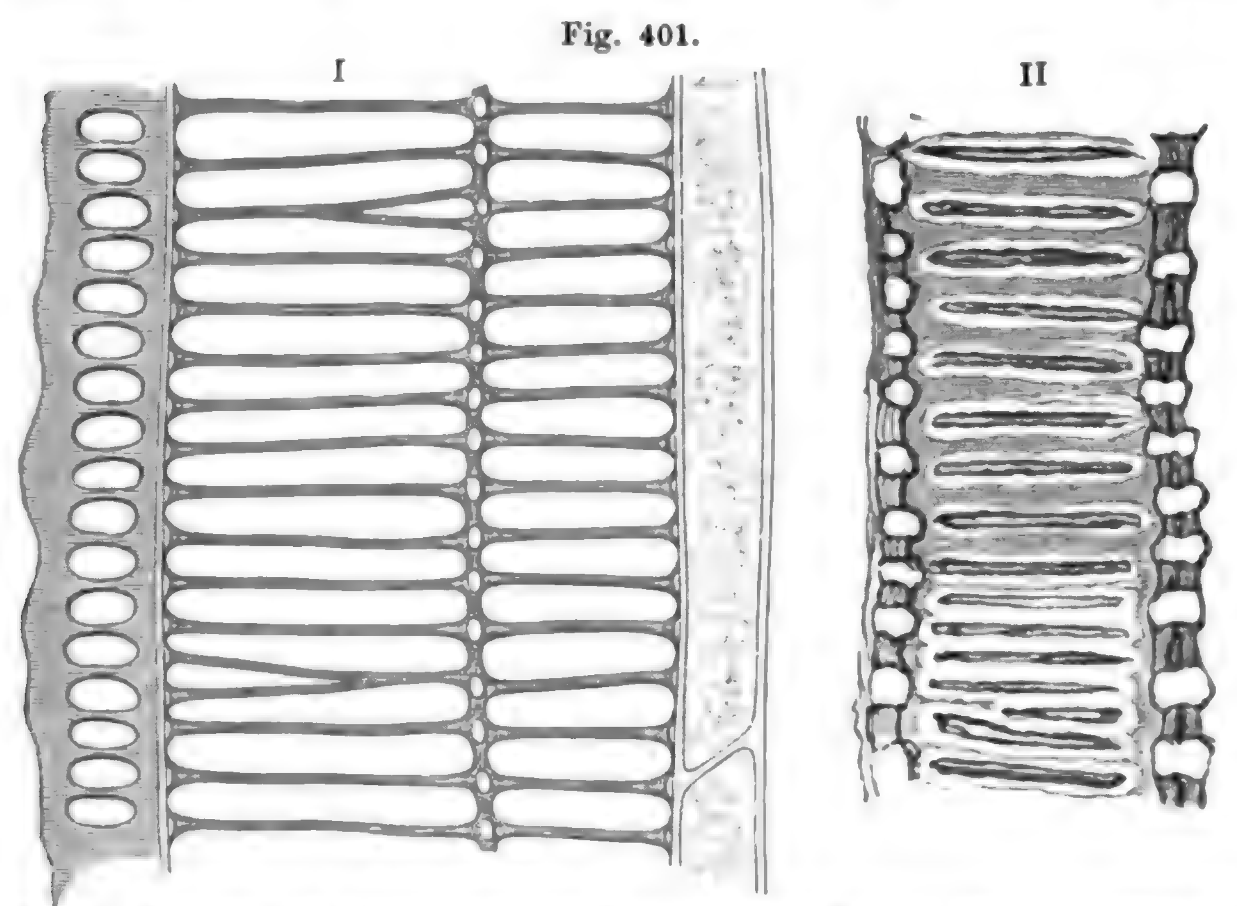


Fig. 401. Aus dem mit Kalilauge behandelten Querschnitt von Pinus silvestris nach Abscheidung der Innenwand und secundären Verdickung. Vergr. 1 : 1000.

Porengrundes auch hier in der gleichen Weise wie bei den Hofporen von der primären Zellwand ausgeht, während der Verschluss bei den erstern vorerst noch durch die mit der Cambialwand zu vergleichenden ersten (aus Pectose bestehenden) Wandschicht, bei den andern durch die Cambialwand bewirkt wird. Die spätere Gestaltung erfolgt dann mittelst der die Erstlingswand (Pectosewand oder Cambialwand) zwischen sich lassenden (Fig. 142, S. 221), nur an Stelle der feinen, durch eine Verdickung der gedachten Wandschicht, die „Knötchen", verschlossenen Canälchen unterbrochenen vereinigten Innenwände der Nachbarzellen, wie es bei der Betrachtung der einfachen Poren in den Figuren auf S. 170 u. f. dargestellt ist. Ein scheinbarer Unterschied

Digitized by Google

zwischen der Schliesshaut der behöften und der im zur Zeit geltenden Sinne aufgefassten, einfachen Poren besteht ausser dem Mangel eines deutlichen Hofraumes darin, dass die letztere bei schwacher Vergrösserung als ein homogenes, die auf einander mündenden Porencanäle scheidendes, aus der gleichen Substanz wie die übrige Zellwand, hier insbesondere der Innenwandschicht („Tertiärwand"), aufgebautes Gebilde erscheint und sich demgemäss im polarisirten Lichte als in ihrer ganzen Ausdehnung doppeltbrechend erweist (Fig. 103, S. 176). Die Uebereinstimmung in dem Bau beider Porenarten würde sich aber ergeben, wenn wir die feinen Canälchen — die Protoplasmaverbindungen der Autoren — als einfache Poren — wobei die „Knötchen" dem Polster („Torus") entsprechen würden — und das, was wir jetzt als solche bezeichnen, als Porengruppen erklären wollten.

Schacht: Ueber Tüpfelbildung, Botanische Zeitung 1859, und De Maculis, Bonn 1860.

Sanio: Ueber den Bau des Tüpfels und Hofes. Botanische Zeitung 1860, S. 193.

Dippel: Ueber die Entstehung und den Bau der Tüpfel. Botanische Zeitung 1860, S. 329.

Dippel: Die wandständigen Protoplasmaströmchen und deren Verhältniss zu den secundären Verdickungsschichten. Besonderer Abdruck aus den Abhandlungen der naturforschenden Gesellschaft zu Halle 1866. Das Mikroskop etc. 1869, 1. Aufl, Zweiter Theil, S. 91 u. f.

Sanio: Anatomie der gemeinen Kiefer II. in Pringsh. Jahrb. 1873, Bd. IX. S. 73 u. f.; Botan. Centralbl. 1882, Bd. IX, S. 316 u. f.

Strasburger: Ueber den Bau und das Wachsthum der Zellhäute. Erste (1882) und folgende Auflagen, sowie Grosses und Kleines botanisches Praktikum. Erste (1884) und folgende Auflagen.

Russow: Sitzungsberichte der naturf. Gesellsch. in Dorpat 1877, Bd. IV, S. 601. Dieselbe 1881, S. 109 u. f.; Botan. Centralbl. 1883, Bd. X, S. 62 und Bd. XIII, S. 29 u. f.

III. Entstehung der Intercellularsubstanz.

Nachdem wir uns an der Hand der im ersten Abschnitte Kapitel II, III 3, S. 207 u. f. dargelegten Untersuchungsmethoden davon überzeugt haben, dass die sogenannte „Mittellamelle" (Hoffmeister, Sachs u. A.) aus einer mittleren, gemäss ihres optischen und chemischen Verhaltens aus der Wandung der cambialen Tochterzellen durch Umbildung hervorgegangenen Platte (der wir, da sie in der That die feste Verbindung der Gewebezellen vermittelt, füglich den Namen Intercellular- oder Kittsubstanz belassen können, falls wir ihr nicht, im Anschluss an die Beziehungen der Primärwand, Innenwand u. s. w., den Namen Cambialwand beilegen wollen) und den Primärwänden der Nachbarzellen besteht, bleibt uns als weitere Aufgabe, den genetischen Zusammenhang zwischen beiden nachzuweisen. Als geeignetstes Object für die einschlägigen Untersuchungen ist das Stamm- und Wurzelholz älterer Nadelbäume, besonders der Kieferarten zu empfehlen.

Digitized by Google

Ein zarter Querschnitt — und für diese Untersuchungen sind dünne Schnitte gerade gut genug, während zu dicke nur zu leicht zu Irrungen führen — durch die Cambiumregion und die dieser angrenzenden Gewebetheile des in Entwickelung begriffenen Frühlings-, Sommer- oder Herbstholzes der Kiefer zeigt Verhältnisse, wie sie in den Fig. 383, S. 547, 384 und 385, S. 549, 398, S. 566 u. Fig. 402 dargestellt sind.

Fig. 402.

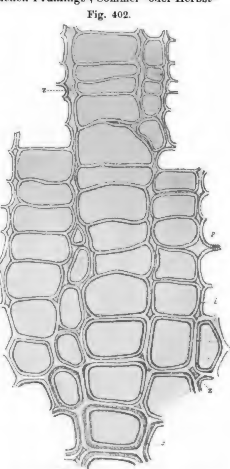


Fig. 402. Querschnitt durch die Cambiumregion von Pinus silvestris. Auf der Seite sieht man, wie schon in der frühesten Jugend auch die tangentialen Wandstücke aus den benachbarten primären Wandstücken zusammengesetzt sind *pr* primäre Zellhülle, *sa* äussere (weiche) Schicht der secundären Verdickung, *si* innere (dichte) Schicht der secundären Verdickung („tertiäre Membran"), *Z* Zwischensubstanz zwischen den radialen Wandstücken der cambialen und jüngsten Bast- und Holzzellen, *p* Pore, *i* Intercellularsubstanz. Vergr. 1 : 500.

Die Zellen der die Cambiummutterzellen und cambialen Tochterzellen umfassenden Cambiumregion, des jungen Bastes und Holzes werden entweder in radialer Richtung durch eine schwach lichtbrechende, bald mehr homogen, bald grumos erscheinende, je nach der Entwickelungsperiode des Jungholzes, bald in verschwindend kleiner, bald in grösserer Menge vorhandene Substanz, die in seltenen Fällen und dann nur in verschwindender Menge zwischen den tangentialen Wandstücken auftritt (Fig. 402, rechts), von einander getrennt erhalten oder es verschmelzen dieselben nach Aufsaugung der Zwischensubstanz (Fig. 398, S. 566). Von dieser Substanz setzen sich die radialen, wie der Augenschein lehrt, von den peripherischen wohl etwas, aber keineswegs bedeutend in ihrer Dicke verschiedenen Wandstücke der einzelnen Zellen vermöge ihrer doppelten Contour und ihres stärkeren Lichtbrechungsvermögens nach beiden Seiten hin immer und auf das Deutlichste ab (Fig. 402 u. Fig. 383, S. 547 bei *z*). In älteren Reihen des Holzkörpers, in deren Zellen das volle radiale Ausmaass erreicht und die Primärwand vollständig

Digitized by Google

entwickelt ist, während die mit letzterer in fester Verbindung stehende verschmolzene Cambialwand, d. h. das innere, wie im ersten Abschnitte S. 207 bis 226 dargethan wurde, durch das polarisirte Licht, wie durch die chemische Reaction nachweisbare feine Netzwerk der mittleren Theilplatte der „Mittellamelle", beziehentlich der Intercellularsubstanz, einmal in Folge der Dehnung, dann des jedenfalls nicht unbedeutenden Wasserverlustes auf ihr kleinstes, bei der Beobachtung nicht vorbehandelter Schnitte in der Regel das Sichtbarwerden ausschliessende (Ausnahmen kommen nur vereinzelt und bei mächtigerer Entwickelung der Cambialwand, wie z. B. bei Pinus canariensis, Fig. 131, S. 208, rechts oben, vor) Ausmaass zurückgeführt ist, erscheinen dagegen die radialen Wandstücke meist dicht an einander gerückt und es werden die Hohlräume der Zellen durch das scheinbar einfache, in peripherischer wie in radialer Richtung gleich dicke Gerüste der primären Zellwände von einander geschieden, während sich die lockere Zwischensubstanz nur noch hier und da in den Ecken vorfindet, wo mehrere Zellen zusammenstossen (Fig. 402 unten und Fig. 383, S. 547, Fig. 384 und 385, S. 549). Weiter nach innen tritt dann in den auf einander folgenden Zellreihen der Beginn und das weitere Fortschreiten der Verdickung in der bereits unter Nr. I geschilderten Weise ein. Polarisirtes Licht als optisches, Chlorzinkjodlösung, Jod und Schwefelsäure als Macerationsgemisch, sowie Färbung mittelst der S. 10 genannten Mittel, insbesondere des Rutheniumroths als chemisch-morphologische Reagentien auf derartige Präparate angewendet, geben über die einzelnen Bestandtheile des jugendlichen Gewebes und seiner Zellen alle diejenigen Aufschlüsse, welche zur Bildung einer begründeten Ueberzeugung über den vorliegenden Sachverhalt erforderlich sind. Im polarisirten Lichte bleiben bei verdunkeltem Gesichtsfelde die Wände der Cambiumzellen sowohl, als die noch theilungsfähigen cambialen Tochterzellen, welche je nach der Jahreszeit, den mehr oder minder günstigen äusseren Verhältnissen und der Holzart (bei Pinus strobus sind sie oft sehr zahlreich) in verschiedener Zahl vorhanden sein können, unsichtbar (Fig. 403 bei *C*), während die primären Zellwände sofort nach ihrem Entstehen sich durch ihr Aufleuchten kenntlich machen, dabei aber von einem äusserst feinen, an die cambialen Wände anschliessenden dunklen Netzwerk durchsetzt werden (Fig. 403 bei *B* und *H*). Die Zellstoffreagentien rufen weder violette noch blaue Färbung in denselben hervor (Fig. XV und XVI, Tafel II links) und das Macerationsgemisch löst sie vollständig auf, indem es nur die Zellkerne und andere protoplasmatische Inhaltsbestandtheile zurück lässt. Die eben nachgewiesene Zwischenmasse zwischen den cambialen, wie zwischen den jungen Bast- und Holzzellen, hier und da auch zwischen den peripherischen Wänden eingelagert, wirkt nicht auf das polarisirte Licht und nimmt in der Regel unter der Einwirkung von Chlorzinkjodlösung eine dem Concentrationsgrade des Reagenzes entsprechende etwas

Digitized by Google

schmutzige gelblichbraune Färbung an; nur an einzelnen Stellen bemerkt man, wie ich früher schon öfter hervorgehoben habe, eine violette oder bläuliche Färbung. Von dem Macerationsgemisch wird die fragliche Substanz bis auf einige krümelige, ihrer Zusammensetzung nach nicht genau controlirbare Reste gelöst. Weiter nach innen, und zwar so weit als die junge Primärwand noch nicht verholzt ist, ändert sich das Verhalten der jungen Holzzellen unter dem Einflusse des Macerationsgemisches und der Zellstoffreagentien insofern, als jetzt im einen Falle durch Lösung der Cambialwände die Zellen getrennt werden im anderen innerhalb einer ungefärbt bleibenden jederseits eine blauviolett oder blau gefärbte Lamelle auftritt (Fig. XV und XVI, Tafel II und Fig. 123, S. 199 oben). Es wird an diesen Stellen sowohl in peripherischer wie in radialer Richtung das blauviolette oder blaue stärkere Netzwerk von einem inneren, sehr feinen, nicht gefärbten, unmittelbar und ununterbrochen in die cambialen Zellwände übergehenden Netzwerke durchsetzt, das bei etwa quadratischer Form der Zellen in seinen Ausmaassen nach radialer und pheripherischer Richtung nicht verschieden und nur in den Zwickeln, oder wo hier und da ein Rest der Zwischenmasse verblieben war, stärker entwickelt erscheint. Die Rutheniumrothlösung, welche z. B. auch bei Nerium oleander und anderen Laubhölzern gute Resultate gewährt, ertheilt den Wänden der Cambiumzellen sowohl als denen der zu Holz (und Bast) übergetretenen noch im cambialen Zustande verbliebenen Zellen eine schön carminrothe Färbung (Fig. 404 *H*). An den weiter nach innen ge-

Fig. 403.

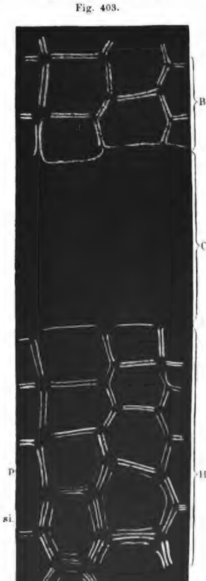


Fig. 403. Querschnitt aus dem in der Entwickelung begriffenen Holze von Pinus silvestris in polarisirtem Lichte. Vergr. 1 : 500.

legenen Zellen, bei denen die Primärwand gebildet, aber noch nicht verholzt ist, tritt ein demjenigen gegen die Zellstoffreagentien entsprechendes Verhalten ein. Das dunkler rothe Netzwerk der Cambialwände setzt sich in ein vollständig gleich gefärbtes feines Netzwerk zwischen den blasser roth gefärbten Primärwänden fort (Fig. 404 bei *C—H*). Dieses mikrochemische Verhalten entspricht denn auch den beobachteten, beziehentlich zu beobachtenden Polarisationserscheinungen, indem die dem feinen dunklen Netzwerke der Polarisationsfigur entsprechenden Wandtheile ungefärbt bleiben, beziehentlich tiefer roth gefärbt werden, die im Polarisationsmikroskope aufleuchtenden gebläut, beziehentlich blasser roth gefärbt erscheinen.

Fig. 404.

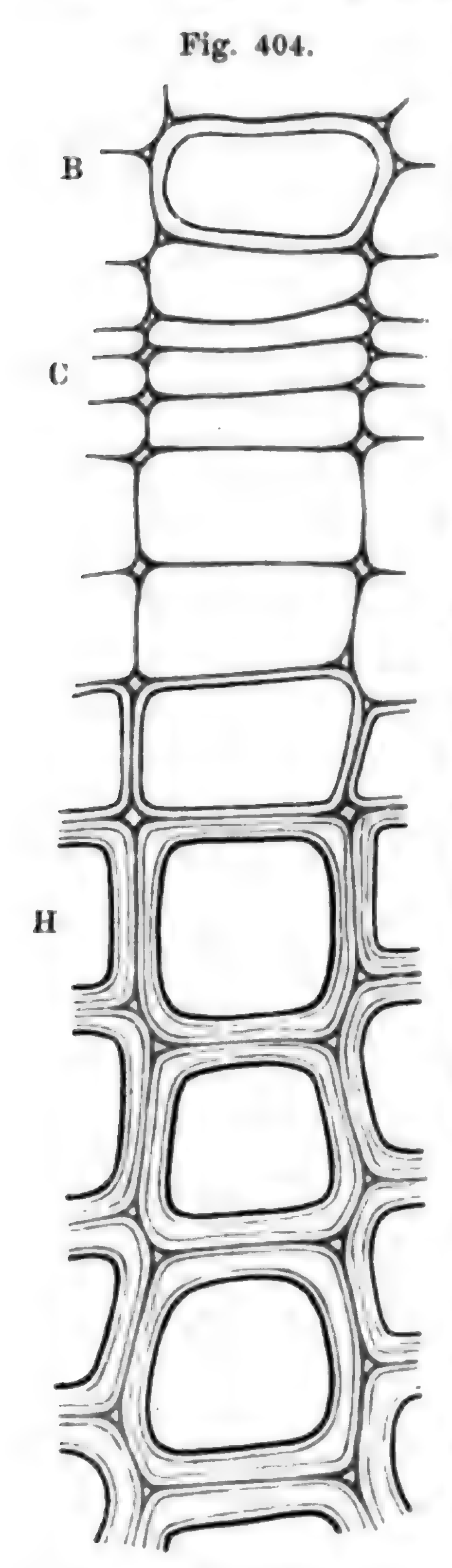


Fig. 404. Querschnitt aus dem in Entwickelung begriffenen Holze von Pinus silvestris mit Rutheniumroth gefärbt. Vergr. 1 : 600.

Mit der Verholzung der primären Zellwand beginnt die chemische Umbildung der Cambialwand (Intercellularzustanz). Jetzt kann ausser an Gewebestücken mit stärker entwickelter Cambialwand durch die einfache Wirkung der Zellstoffreagentien deren Vorhandensein nicht mehr ohne Weiteres ersichtlich gemacht werden, sondern es wird hierzu eine vorbereitende Behandlung erforderlich. Auf diesem Entwickelungszustande erscheint das ganze Netzwerk der Intercellularsubstanz unter Anwendung von Chlorzinkjodlösung sowohl als von Jod und Schwefelsäure in der Regel gelb gefärbt, ohne dass sich die mittlere Theilplatte durch besonders hervortretende Färbung auszeichnete.

Wollen wir den Zusammenhang der mittleren Theilplatte, d. h. der Intercellularsubstanz, mit dem in jüngeren Gewebetheilen erkannten ungefärbten feineren Maschenwerk, welcher durch das Verhalten im polarisirten Lichte sofort nachgewiesen werden kann (Fig. 403), bis in die verholzten Gewebetheile durch differenzirende Mittel zur Erscheinung bringen, so erscheint hierzu vor Allem die Färbung frischer Schnitte mittelst Rutheniumroth geeignet. Behandeln wir einen Querschnitt durch Cambium, den jüngeren und älteren Holzkörper eines Nadel- oder Laubholzes mit dieser Färbeflüssigkeit dann werden wir finden, dass sich das von dem Cambium ausgehende, carminroth gefärbte, äusserst feine Netzwerk ununterbrochen über alle Regionen des Präparates, in welchem die verholzten Zellwände ungefärbt

Digitized by Google

bleiben, ausdehnt (Fig. 404 *C—H*). Bei Anwendung der oben genannten Mittel dagegen müssen wir entsprechende Gewebeschnitte mittelst der macerirenden Mittel vorbereiten und dann erst mittelst jener behandeln. An derartig zubereiteten Präparaten erkennt man dann gleichfalls den unmittelbaren Uebergang des farblos gebliebenen, mit den cambialen Zellwänden in Verbindung stehenden Netzwerkes in die unter der vorgängigen Einwirkung der Macerationsflüssigkeiten hervorgetretene mittlere Theilplatte, der Intercellularsubstanz, indem sich die weissen Maschentheile zwischen den noch unverholzten primären Zellwänden in das gelbe mittlere Maschenwerk zwischen den primären, violett oder blau gefärbten Zellwänden der verholzten Zellen fortsetzen.

Aus den mitgetheilten Thatsachen bezüglich der Entwickelungsgeschichte der mittleren Theilplatte der „Mittellamelle", im Sinne der Nägeli'schen Schule d. h. der Intercellularsubstanz, geht Folgendes hervor: Erstens die Zwischenmasse, welche sich in ihrem optischen und chemischen Verhalten so entschieden von den gesammten jungen Zellwandtheilen unterscheidet, ist nicht als ein Theil der „dicken" Radialwände, der Cambiumzellen, aufzufassen. Wir haben vielmehr in derselben eine Substanz zu erblicken, welche — zumal da man hier und da noch in ihren Umrissen kenntliche Reste der Mutterzellwände in ihr wahrnehmen kann — zum mindesten theilweise als das Umwandlungsproduct der nicht mehr nachzuweisenden, hier gemäss des Verhaltens der fraglichen Substanz gegen Rutheniumroth zwar nicht, wie nach den Beobachtungen Mangin's (siehe die Literaturangaben auf S. 12) bei anderen zur Auflösung bestimmten Zellen, aus Callose, aber möglicherweise aus einer unter den gegebenen Entwickelungsverhältnissen löslichen Verbindung von Pectose-Callose bestehenden cambialen Mutterzellwände zu betrachten und deren Verschwinden innerhalb des jungen Holzes und Bastes auf Auflösung und Aufsaugung zurückzuführen ist. Dass in derselben zeitweise mehr oder minder deutlich erkennbare Mengen anderer, mit Chlorzinkjodlösung sich bläuender Verbindungen während der Stoffwanderung festgehalten sein können, mag nicht ausgeschlossen sein. Zweitens die cambialen Zellwände, d. h. die Zellwände der Cambiummutterzellen sowohl als diejenigen der Cambiumtochterzellen, welche unter Umständen noch theilungsfähig und noch nicht als eigentliche Bast- und Holzzellen zu dem Gefässbündel übergetreten sind, bestehen, soweit es aus dem Verhalten gegen optische und chemische Reagentien erschlossen werden kann, nicht aus Zellstoff im gebräuchlichen Sinne, d. h. aus Pectose-Cellulose. Erst auf einer zweiten, je nach den Vegetationsverhältnissen etwas früher oder später eintretenden Entwickelungsstufe und demgemäss in mehr oder minder weit von den Cambiummutterzellen nach aussen oder innen gerückten Zellenreihen wird die aus Zellstoff (Pectose-Cellulose) aufgebaute primäre Zellwand innerhalb der cambialen Tochterzellwände von dem lebendigen Zellleibe aus abgeschieden. Drittens die Intercellularsubstanz ist weder das Product

Digitized by Google

einer Differenzirung inmitten der primären Zellwand, oder der chemischen Umwandlung der untergegangenen und erweichten Mutterzellen, noch ist sie aus der weit fortgeschrittenen Verholzung der persistenten Mutterzellwände hervorgegangen, sie verdankt vielmehr ihr Entstehen den nicht aus Pectosezellstoff, sondern nach Mangin's Untersuchungen aus reiner Pectose, beziehentlich Pectinsäure bestehenden cambialen Zellwänden, deren Substanz allerdings — wie der Pectosezellstoff der Zellwände in den verholzten Geweben — eine von der der letzteren verschiedene chemische Umbildung, und zwar nach Mangin in pectinsauren Kalk, erleidet.

Literatur siehe S. 145 u. f., 190 u. f., sowie 225 u. f.

Drittes Capitel.

Entstehung und Wachsthum der Stärkekörner.

Da die Stärkekörner der höheren Gewächse immer — die wenigen seiner Zeit von Mikosch und Belzung behaupteten Ausnahmen, wo sie frei in dem Protoplasma (Cytoplasma) entstehen sollten, sind von Schimper und A. Meyer als unhaltbar nachgewiesen worden — innerhalb der Protoplasten (Chromatophoren), und zwar innerhalb der Chlorophyll- und Weisskörper (Chloro- und Leukoplasten) entstehen und wachsen und bis zu ihrer endlichen Auflösung von denselben umhüllt bleiben, so haben wir für die Entwickelungsgeschichte, die sich indessen in den ersten Stufen der Beobachtung entzieht und erst mit Erlangung einer nachweisbaren Grösse verfolgt werden kann, zunächst die Beziehungen zwischen ihnen und dem Erzeuger festzustellen. Die Umhüllung der jugendlichen Stärkekörner durch den Protoplasten ist, namentlich wenn ihre Entstehung im Chlorophyllkörper erfolgt, leicht wahrzunehmen und lange bekannt. Schwieriger gestaltet sich der Nachweiss auch unter diesen Verhältnissen bei den heran- und ausgewachsenen Stärkekörnern, wo der Chlorophyllkörper, welcher bei excentrischen Körnern nur an dem Pole des stärksten Wachsthums, beziehentlich der grössten Schichtendicke noch eine durch ihre grüne Färbung und die vorhandenen „Grana" kenntliche, dickere Schicht bildet, nach dem entgegengesetzten Pole hin aber so stark gedehnt erscheint, dass die äusserst dünne, mehr allmälig (Oxalis Ortgiesi) oder schneller (Pellionia Daveauana, Beere der Kartoffel) farblos gewordene und nur in der Nähe der grünen Anhäufung feine farblose Körnchen zeigende Schicht unter gewöhnlichen Umständen auch mittelst unserer stärksten Objective nicht getrennt beobachtet werden kann. Zur Ermittelung der vorliegenden Verhältnisse ist daher ausser der Beobachtung unveränderter Präparate noch diejenige in entsprechender

Digitized by Google

Weise mittelst Reagentien behandelter erforderlich. Zu ersterer eignen sich namentlich Objecte mit gesättigt grünen und möglichst widerstandsfähigen Chlorophyllkörpern, wie sie z. B. die eben genannte Oxalisart bietet. Von den jüngeren zu den nächst älteren Indernodien der jüngsten und nächsten Sprossachsen absteigende, nicht angeschnittene Zellen mit unverletzten Chlorophyllkörpern enthaltende, also nicht zu dünne, vor Druck u. s. w. zu bewahrende, in einer — am besten mit Eosin gefärbten — 3 bis 5 Proc. Zucker- oder 5 bis 10 Proc.

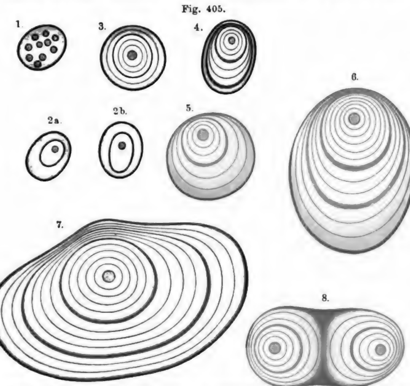


Fig. 405. 1 Chlorophyllkörper mit Grana. 2—8 Stärkekörner verschiedener Entwickelungsstufen von Oxalis Ortgiesi in 5 Proc. Salpeterlösung beobachtet. Vergr. 1 : 900.

Salpeterlösung beobachtete Querschnitte bieten in den Zellen des Rindengewebes alle erforderlichen Wachsthumszustände (Fig. 405 u. 408). An solchen kann bis zu einer gewissen Grösse (etwa bis 40 μ der grössten Achse) die vollständige Umhüllung — namentlich bei Beobachtung mit breitem Lichtkegel (im sogenannten Farbenbilde) — noch durch die grüne oder gelblichgrüne Färbung erkannt werden, während an mehr herangewachsenen Körnern die oben besprochenen Verhältnisse auftreten. Die Vorbehandlung solcher Objecte, wo die Beobachtung unverletzter Zellen nicht schon die erforderlichen Aufschlüsse gewährt, kann in

Digitized by Google

zweierlei Weise ausgeführt werden. Die ältere, schon von Binz angewendete Methode besteht darin, dass man das Stärkekorn mittelst concentrirter Schwefelsäure aus dem Chlorophyllkorn herauslöst. Zu dem Ende bringt man einen Längsschnitt, etwa aus der Sprossachse von Pellionia, ohne Einschlussmittel auf den Objectträger, lässt ihn, damit die Schwefelsäure durch den Zellsaft nicht zu sehr verdünnt wird, etwas abtrocknen, legt das Deckglas auf, sucht eine vollständig unverletzte Zelle aus, stellt auf ein grösseres Stärkekorn derselben ein und lässt nun, während man beobachtet, die Schwefelsäure vom Rande aus unter das Deckglas fliessen. Gelingt das Verfahren, so sieht man das Stärkekorn, ohne dass es eine event. die Chlorophyllumhüllung sprengende Quellung erleidet, gelöst werden, während letztere als ein geschlossener Ring zurückbleibt, dessen dickeres Ende dunkelgrün erscheint und allmälig in den gelblichen dünneren, bei stark gestreckten Körnern fast kaum mehr wahrnehmbaren Theil übergeht. Noch sicherere Aufschlüsse gewährt — insbesondere bei Beobachtung mittelst homogener Immersion und im Farbenbilde — die von A. Meyer eingeführte Härtungs- und Färbemethode. Hierbei werden sorgfältig und ohne Druck abgeschnittene Stengelstückchen von Pellionia, oder einer anderen geeigneten Pflanze, oder halbirte Kartoffelbeeren in eine aus 5 g Sublimat, 100 g Alkohol bereitete, mit zehn Tropfen Salzsäure angesäuerte Sublimatlösung so lange eingelegt, bis sie entfärbt erscheinen, dann mittelst stets erneuertem 95 proc. Alkohol ausgewaschen. Dünne Schnitte der so behandelten Pflanzentheile

Fig. 406.

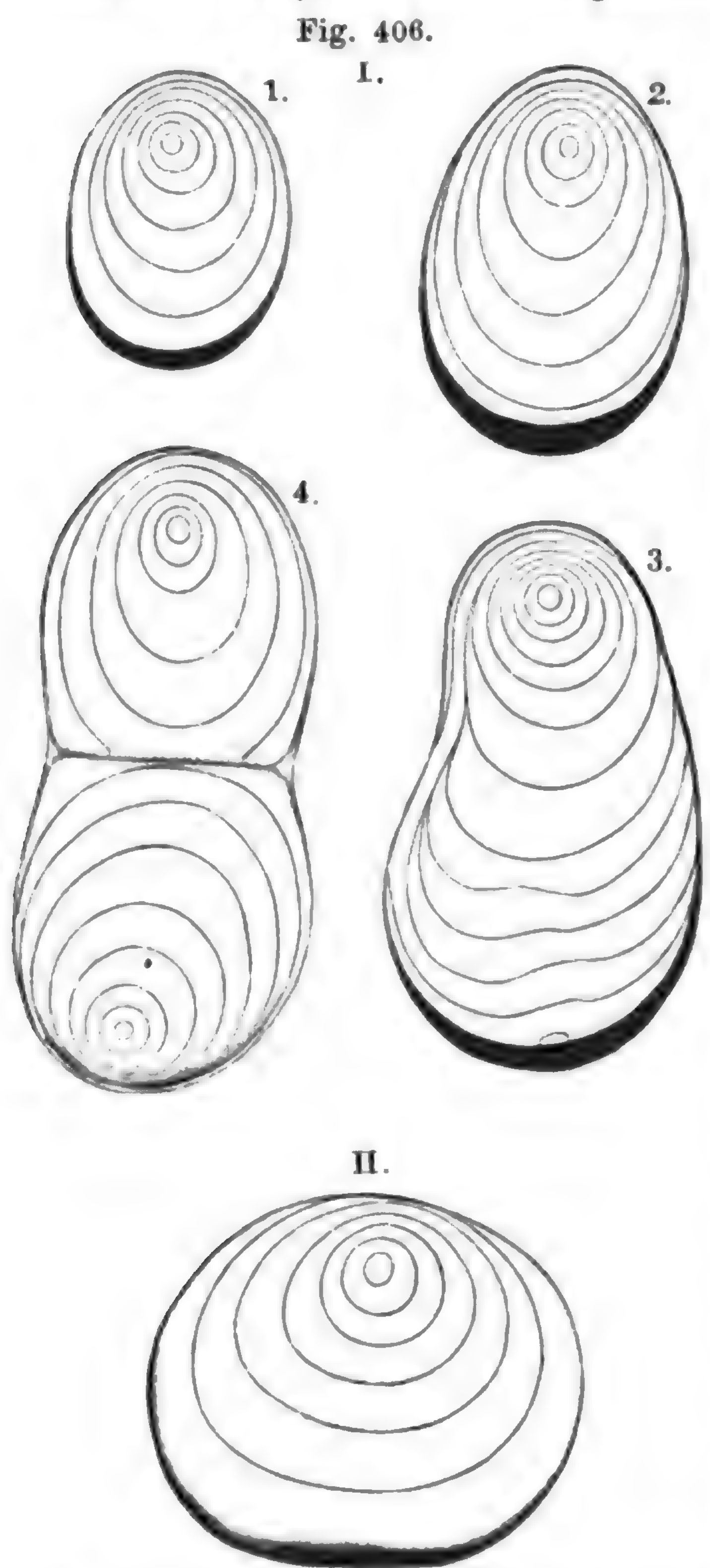


Fig. 406. Stärkekörner I von Pellionia II von Oxalis gehärtet und nach Meyer's Methode gefärbt. Die Schichtung ist durch einfache Linie angedeutet. Vergr. 1:900.

Digitized by Google

werden nun 18 Minuten lang in eine Lösung von Säurefuchsin (20 g Säurefuchsin, 3 ccm Anilinöl und 200 g destillirtes Wasser) eingelegt, dann in einem Gemische von 1 Theil concentrirter alkoholischer Pikrinsäurelösung und 2 Theilen destillirtem Wasser so lange ausgewaschen, bis keine Abgabe von Farbstoff mehr stattfindet, hierauf zur Entfernung der Pikrinsäure in Alkohol, zuletzt 15 Minuten in Chloroform gelegt und von diesem aus in Canadabalsam eingeschlossen. Ist die Färbung gut gelungen, dann erscheint die Protoplastenumhüllung des farblos gebliebenen Stärkekornes tief roth, etwa vorhandene Proteïnkörner oder Proteïnkrystalle noch etwas dunkler gefärbt (Fig. 406, 3, roth), während bei weniger gelungener in dem Stärkekorn eine röthliche, in der Protoplastenumhüllung eine gelbliche bis orange Färbung auftritt. Gute Resultate erhält man auch durch die von Zimmermann (Bot. Mikroskopie, S. 191) für die Protoplasten empfohlene Färbung mit 0,2 Proc. wässeriger Säurefuchsinlösung. Der Farbton ist jedoch hier blauroth (Fig. 407, blauroth.)

Fig. 407.

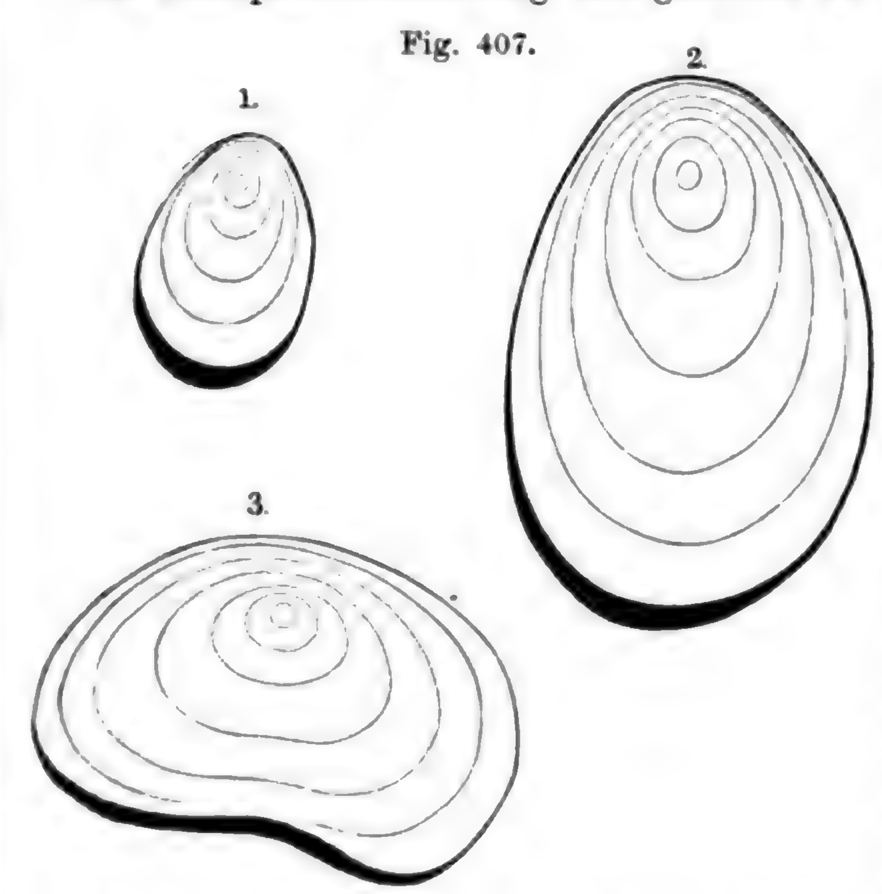


Fig. 407. Stärkekörner von Pellionia gehärtet und mit 2 Proc. Säurefuchsinlösung gefärbt. Die Schichtung wie in voriger Figur. Vergr. 1 : 900.

Die während ihres ganzen Lebens dauernde Umhüllung der Stärkekörner mittelst der Protoplasten (Chromatophoren) lässt darauf schliessen, dass die letzteren in unmittelbarer Beziehung zu allen Lebensvorgängen: Entstehung, Wachsthum und Lösung stehen. Bei dem Chlorophyllkorn, dessen „Grana" nach der Ansicht A. Meyer's als Apparate der Assimilation anzusehen sind, bildet die Grundsubstanz (das Stroma) das Organ, in welchem sowohl die Stärke erzeugt als die bei der Lösung der Stärkekörner betheiligte Diastase gebildet wird. Ein Gleiches dürfte wohl auch bei den anderen Protoplasten (Chromatophoren) der Fall sein.

Unter diesen Umständen erscheint es als selbstverständlich, dass beide Protoplasten wie Stärkeköner in wechselseitiger Beziehung stehen, dass sowohl die Dichte wie die Gestalt und deren Wechsel der einen für die Ausformung der anderen von Einfluss wird. Die Abhängigkeit der Form und Schichtung des wachsenden Stärkekornes, welches nach der

Digitized by Google

Anschauung A. Meyer's, der ich mich nach meinen eigenen Beobachtungen anschliessen kann (S. 87 und Fig. 45 I. *d* und II.), ein in einer zähflüssigen Mutterlauge wachsender Sphärokrystall ist von der Form des Protoplasten (Chromatophors), wird durch die folgende von genanntem Forscher in Uebereinstimmung mit Schimper festgestellte Regel ausgedrückt:

„Ein in einem Chromatophor in constantem Wachsthum befindliches Stärkekorn erhält an jedem Punkte seiner Oberfläche in der Zeiteinheit einen Zuwachs, dessen Dicke für das gegebene Stärkekorn ungefähr der Dicke der Chromatophorenschicht, welche jeden Punkt der Kornoberfläche bedeckt, gleich kommt."

Aus dieser Regel ergeben sich dann noch folgende, das Verständniss der Formenbildung der Stärkekörner erleichternde, von demselben Autor aufgestellte Sätze:

1. „Die Gestalt eines in einem Chromatophor, dessen Gestalt constant bleibt, wachsenden monotonen (einfachen, gleichförmigen) Stärkekornes wird stets eine dem Chromatophor gleichartige werden, an welchem Orte des Chromatophors auch das Stärkekorn entsteht" [kugelförmiger Chromatophor, kugelförmiges Stärkekorn (Fig. 405, 3 und 5, 408, 2—7 und 9), länglicher Chromatophor, längliches Stärkekorn (Fig. 405, 2, 4 und 6, 408, 10—15)].

2. „Die Form der Schichtung eines in einem Chromatophor, dessen Gestalt constant bleibt, wachsenden monotonen Stärkekornes ist abhängig von dem Orte, an welchem das Stärkekorn innerhalb des Chromatophors wächst" [Stärkekorn im Centrum eines kugelförmigen Chromatophors: centrisch geschichtet (Fig. 405, 3, 408, 3, 4 und 9), bei anderer Lage excentrisch geschichtet (Fig. 405, 5, 408, 5—7)].

3. „Zähflüssigkeit des Chromatophors und geringes Bestreben, sich in gleich dicker Schicht über dem Stärkekorn auszubreiten, führen zu einer erhöhten Excentricität der Schichtung der in einem Chromatophor wachsenden Stärkekörner" (Fig. 405, 7 und 408, 12—20).

4. „Ein grosses Ausbreitungsstreben des Chromatophors führt stets zu centrischer Schichtung der in ihm wachsenden Stärkekörner."

Wenden wir uns jetzt zur Entwickelungsgeschichte der Stärkekörner, so eignen sich zum Studium ihrer jüngeren Entwickelungsstufen, wie ihrer weiteren Ausbildung vorzugsweise das Rindengewebe junger Stengeltheile, sowie das Sameneiweiss mancher Gattungen und Arten von Mono- und Dikotyledonen, für den Verfolg der Schichtenbildung, insbesondere die Früchte und jungen Knollen der Kartoffel, die Stengel von Dieffenbachiaarten, Pellionia Daveauana, Oxalis Ortgiesi, die

Digitized by Google

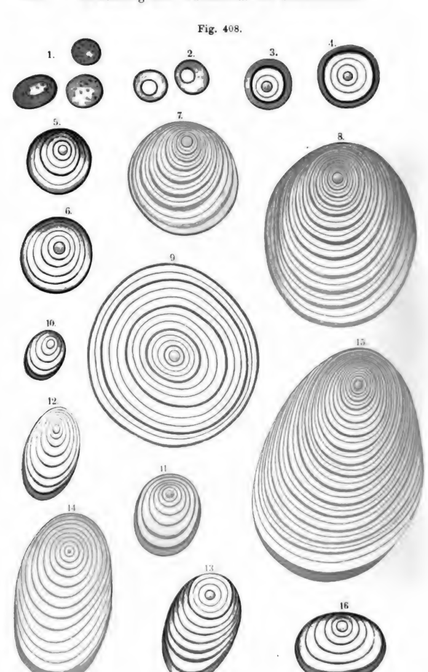
Speichersprosse von Adoxa moschatellina, die Wurzelstöcke und das Sameneiweiss der knolligen Canna-Arten u. s. w. Bei den betreffenden Untersuchungen hat man bei den Stengeltheilen von den jüngsten Indernodien, bei den Sameneiweissen und Knollen von den jüngeren Samenanlagen und Knollenbildungen ab während ihrer verschiedenen Lebens- und Wachsthumsperioden möglichst lückenlose Reihen bildende Entwickelungsstadien zu beobachten. Nur die Beobachtung solcher lückenlosen Entwickelungsstufen kann über die Art des Wachsthums und die Structur des Stärkekornes, über die Folge und Natur der Schichtenbildung u. s. w. die erforderliche Auskunft gewähren.

Zu dieser Beobachtung dienen am besten unverletzte Zellenlagen enthaltende Schnittreihen von den jüngeren zu den weiter in der Entwickelung vorgeschrittenen Pflanzen- und Gewebetheilen, welche wegen der grossen Empfindlichkeit der Protoplasten (Chromatophoren) gegen äussere Einflüsse möglichst rasch und mit grosser Sorgfalt angefertigt werden müssen. Vollzieht sich die Entwickelung innerhalb von Chlorophyllkörpern, so kann die Beobachtung derselben und das gegenseitige Verhältniss zwischen den Chlorophyllkörpern und den Stärkekörnern bis zu einer gewissen Grössenzunahme der letzteren an den frischen, in die oben genannten Lösungen eingelegten Schnitten beobachtet werden, während bei weiter heranwachsenden Körnern die gedachte Härtungs- und Färbungsmethode zur Anwendung kommt. Wo sich Stärkekörner innerhalb von Weisskörpern (Leukoplasten) entwickeln, wird stets eine Vorbehandlung mittelst Härtung und Färbung erforderlich. Am einfachsten gelangt man hier zum Ziele mittelst Anwendung von Pikronigrosin, welches man sich bereitet, indem man einer concentrirten — noch ungelöste Krystalle enthaltenden — wässerigen Pikrinsäurelösung einige Tropfen concentrirter Nigrosinlösung zufügt. Man kann dabei auf zweierlei Weise verfahren, indem man entweder kleine Stückchen der betreffenden Objecte einige Tage in der Lösung lässt und dann nach sorgfältigem Auswaschen die Schnitte anfertigt, oder möglichst rasch hergestellte Schnitte aus frischem Material einige Stunden lang in das Pikronigrosin einträgt und nach mehrstündigem Auswaschen zur Beobachtung verwendet. Diese geschieht in beiden Fällen in Glycerin. Will man sich Dauerpräparate herstellen, so werden die Schnitte aus dem Glycerin in Glyceringelatine übertragen. Auch mittelst der schon erwähnten Härtung durch Sublimatlösung und Färbung mittelst Säurefuchsin erhält man schöne Präparate.

Verfolgen wir zunächst die Entwickelung bei der Kartoffelbeere, so finden wir in dem Fruchtfleische von etwa 3—5 mm Durchmesser besitzenden Früchten an frischen, in einer der oben genannten Lösungen beobachteten Schnitten in den äusseren Zellschichten stärkefreie Chlorophyllkörner (Fig. 408, 1), in den mittleren theils noch stärkefreie, theils solche Chlorophyllkörner, welche je ein, seltener zwei bis drei kleine, theils in deren Mitte, theils mehr nach dem einen Ende des

Digitized by Google

Fig. 408.



Digitized by Google

Durchmessers liegende Stärkekörnchen enthalten (Fig. 408, 2), während in den inneren schon mehr herangewachsenen, bereits deutlich den Kern und eine bis drei Schichten erkennen lassende Körner auftreten (Fig. 408, 3 und 4). In etwas älteren Beeren treten unter wesentlich ähnlicher Vertheilung der fortschreitenden Entwickelung in den ver-

Fig. 408.

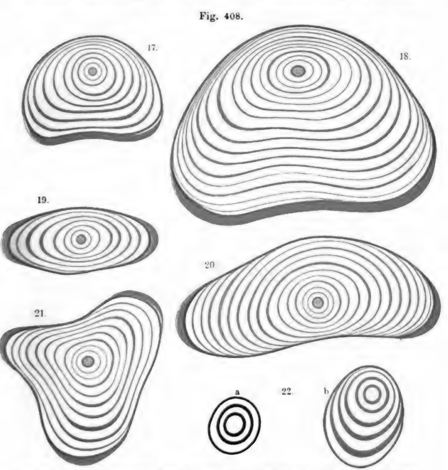


Fig. 408. 1 Chlorophyllkörper. 2—21 Entwickelungsstufen verschiedengestaltiger Stärkekörner der Frucht von Solanum tuberosum. 22 a und b zwei Stärkekörner mit stärker lichtbrechendem Kern. Vergr. 1 : 900.

schiedenen Fruchtfleischschichten, in den inneren Zelllagen schon Stärkekörner mit mehreren Schichten auf. Hier gelangen denn auch schon die in den voranstehenden Sätzen 2 und 3 ausgesprochenen Beziehungen zwischen Chlorophyll- und Stärkekorn in den ersten Schritten zur Anschauung. Von den in der Mitte der Chlorophyllkörper gelegenen Stärkekörnern zeigen vorläufig noch die meisten centrische Schichtung

Digitized by Google

(Fig. 408, 3 und 4), bei anderen und den excentrisch gelegenen tritt selbst da, wo sie noch eine kugelförmige Form besitzen, bereits die mehr oder minder ausgesprochene Excentricität hervor (Fig. 408, 10—12).

Fig. 409.

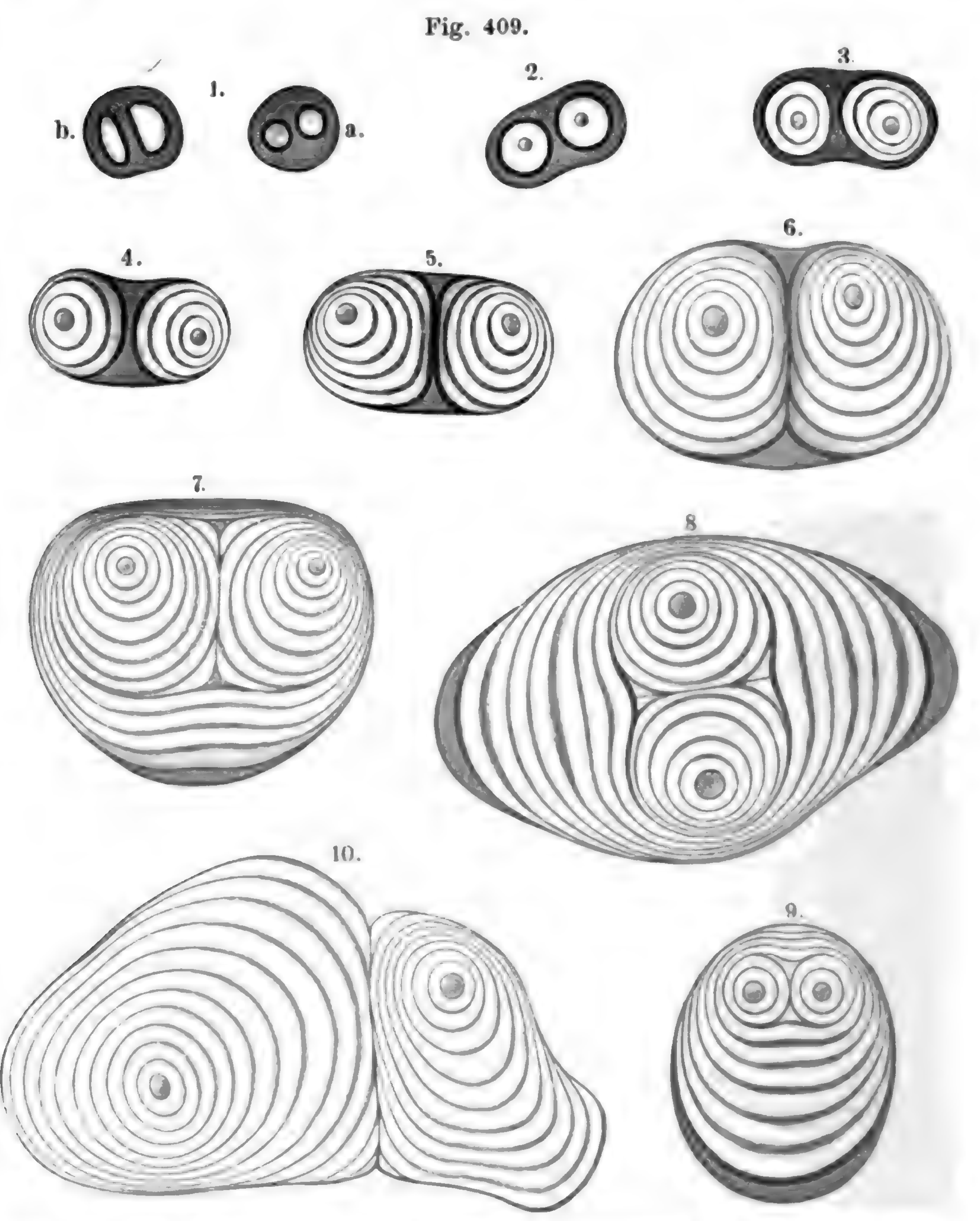


Fig. 409. 1—9 Entwickelungszustände zweigliedriger Stärkekörner aus der Kartoffelfrucht 10 ein zweibrüdriges (diadelphisches) Stärkekorn aus der Kartoffelknolle. Vergr. 1 : 900.

Die ersteren werden, wie sich aus dem Farbenton nicht entfärbter oder mit Sublimat- und Säurefuchsinlösung behandelter Präparate ergiebt, von einer etwa gleich dicken, die anderen von einer nach dem Kernpole schon mässig verdünnten, nach dem entgegen-

Digitized by Google

gesetzten Pole etwas verdickten Chlorophyllhülle umgeben. Auf späteren Entwickelungsstufen zeigen die Stärkekörner nach und nach eine grössere Anzahl von meist excentrischen, seltener concentrischen Schichten und ihre nun schärfer ausgesprochene, verschiedenartige Gestalt (Fig. 41 I *c* bis *f*, S. 80 und Fig. 408), welche offenbar durch das Verhalten der Bildner, die sich an frischen Objecten jetzt in Folge der immer mehr zunehmenden Verdünnung nach dem Kernpole oder an anderen Stellen bald als halbkugelige, bald als mehr oder minder in die Breite gezogene grün gefärbte Kugelschalen (Fig. 408, 13—21) zu erkennen geben, beeinflusst wird.

Liegen zwei oder drei Stärkekörner nahe beisammen, so tritt jetzt schon die Entwickelungsweise der verbrüderten (adelphische, A. Meyer) und mehrgliedrigen (complexe, A. Meyer) Stärkekörner (Fig. 43 *a* bis *d*, S. 83) hervor, indem der Chlorophyllkörper nach zwei Seiten hin zu je einer Blase ausgedehnt wird (Fig. 409, 1 u. 2). Bei den ersteren bleibt die Chlorophyllhülle um jedes der Stärkekörner während der ganzen Entwickelung geschlossen und es wachsen dieselben selbständig zu ihrer vollen Grösse und der durch die Beeinflussung der ersteren bedingten Gestalt heran (Fig. 408, 8, 9 und 15). In Bezug auf das Heranwachsen der anderen zeigt sich eine Verschiedenheit. Während die einen nur kurze Zeit als zwei- und dreibrüdrige (di- und polyadelphische Körner, A. Meyer*) selbständig heranwachsen und die durch das Gegeneinanderwachsen der einander zugewendeten Stärkeschichten schon bald, bei sehr nahe an einander gerückten Körnern bisweilen schon auf der ersten Entwickelungsstufe, zwischen ihnen herausgepresste Chlorophyllsubstanz als gemeinsame Umhüllung neue und zahlreiche, dieselben umfassende Stärkeschichten erzeugt (Fig. 409, 3—9), wachsen andere längere Zeit selbständig und die Erzeugung gemeinschaftlicher, minder zahlreicher — hier und da selbst auf eine minder dichte und eine dichte beschränkter — hier wie in dem ersten Falle im Verlaufe und Gestalt von der Ausgestaltung der gemeinsamen Chlorophyllhülle abhängiger Schichten tritt erst in höherem Alter ein. So entstehen einerseits die in Fig. 43 unter *a*, andererseits die unter *b* bis *d*, *g* und *h* sowie Fig. 409, 10 dargestellten mehrgliedrigen (complexen, di- bis polyarchen, A. Meyer, halbzusammengesetzte, Nägeli u. A.) Stärkekörner.

Im Verlaufe der Ausbildung der Kartoffelfrucht treten nun in Folge des Verbrauches von Stärkesubstanz durch die Diastase vermittelte Lösungserscheinungen und darauf folgende Neubildung von Schichten an den Stärkekörnern ein, welche eine Aenderung der ursprünglichen Gestalt derselben bedingen. Durch die theilweise Lösung, welche die

*) Als adelphisch werden von A. Meyer alle in demselben Protoplasten heranwachsenden und herangewachsenen Stärkekörner bezeichnet, welche nicht von gemeinschaftlichen Schichten umfasst werden.

Digitized by Google

schwächer lichtbrechenden Schichten stärker angreift, als die stärker lichtbrechenden, werden bei den einfachen Stärkekörnern neben selten auftretenden Formen, welche von sämmtlichen aufgelagerten Schichten noch Theile erkennen lassen (monotone Stärkekörner, A. Meyer), meist solche, von A. Meyer als polytone bezeichnete Gestalten hervorgebracht, wie sie in Fig. 41 I. *g* bis *k* und Fig. 410, 1—5 wiedergegeben sind. Tritt nach der theilweisen Lösung Neubildung von Schichten ein,

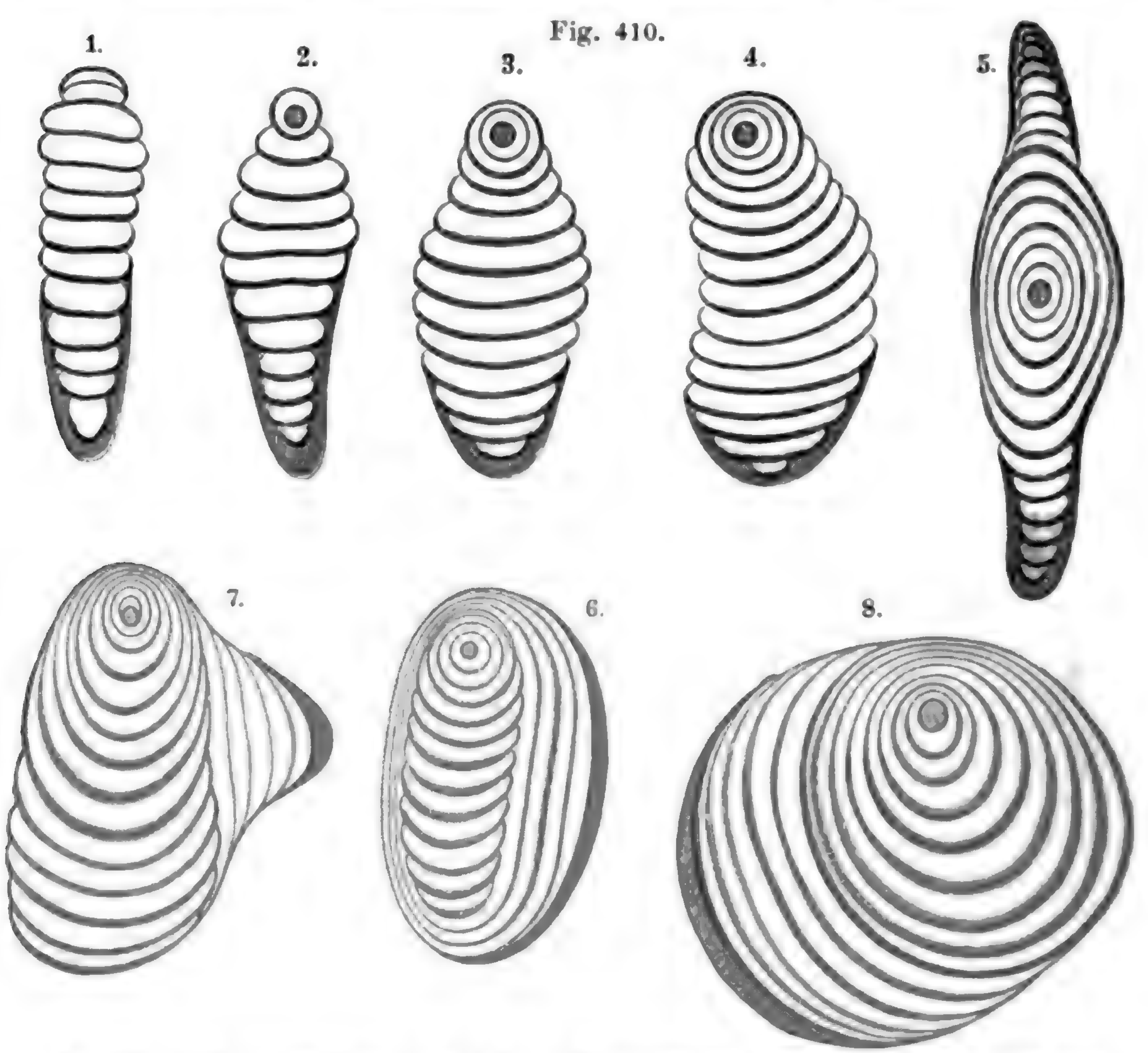


Fig. 410. 1—8 Lösungskörner, bei 6—8 mit Neuanlagerung von Stärkeschichten. Aus der Kartoffelfrucht. Vergr. 1 : 900.

wobei man nicht selten einen Ortswechsel der stärkeren Anhäufung des Chlorophyllkörpers beobachtet, indem es von dem hinteren Ende zur Seite rückt, und dadurch zu dem in Fig. 43 *i* und Fig. 410, 6—8 dargestellten eigenartigen Schichtenverlaufe Veranlassung giebt, während, wenn der Chlorophyllkörper seine frühere Gestalt beibehält, das theilweise gelöste Korn allseitig von nach dem der grösseren Chlorophyllmasse gegenüber liegenden Pole sich auskeilenden Schichten umgeben wird*). Eine eigen-

*) Derartige Gestalten fallen gleichfalls unter den Begriff „polytone Stärkekörner“.

Digitized by Google

Fig. 411.

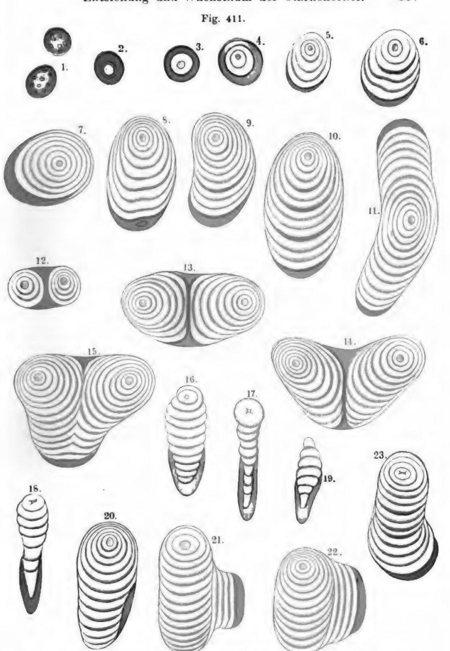


Fig. 411. Pellionia Daveauana. 1 Chlorophyllkörper. 2—11 Entwickelungsstufen von einfachen, 12—15 von mehrgliedrigen Stärkekörnern. 16—19 Lösungskörner. 20—23 Neuauflagerung von Stärkeschichten an Lösungskörnern. Vergr. 1 : 900.

Digitized by Google

artige, von A. Meyer auch bei Adoxa moschatellina und Dieffenbachia Seguina beobachtete Erscheinung tritt hier insofern bisweilen ein, als sich die grössere Anhäufung des Chlorophyllkörpers zu einer Blase erweitert und ein mit dem ursprünglichen vereinigtes neues Korn mit Kern und Schichtung erzeugt (Fig. 43 I. *k*).

Ganz ähnlich gestaltet sich auch die Entwickelung in der wachsenden Knolle, nur dass an die Stelle der Chlorophyllkörper Weisskörper als Stärkebildner treten. Auch bei der in neuerer Zeit mehrfach und mit Recht als Object für die Entwickelungsgeschichte der Stärkekörner empfohlenen und verwendeten Pellionia Daveauana verläuft diese im Wesentlichen wie bei der Kartoffelfrucht und lässt sich in gleicher Weise verfolgen. Es mag daher genügen, hier im Anschluss an die vorausgehende Auseinandersetzung eine Entwickelungsreihe der Stärkekörner genannter Pflanze in figürlicher Darstellung (Fig. 411) wiederzugeben.

Wenn die Protoplasten (Chromatophoren) Krystalloide führen, so sitzen sie in der Regel an dem hinteren Ende des sich entwickelnden Stärkekornes, d. h. in der stärkeren Anhäufung der ersteren, und machen ihren Einfluss auf die Gestaltung der Schichten insofern geltend, als durch dieselben eine an der betreffenden Stelle auftretende Einbuchtung (Fig. 406, I. 3), oder bei langer Stäbchenform eine Abplattung (Canna, Phajus grandifolius u. a.) derselben veranlasst wird.

Lässt sich durch die voranstehenden Beobachtungen feststellen dass sich Anlage und Wachsthum des Stärkekornes, wie dies von Schimper und A. Meyer nachgewiesen wurde, nur durch Vermittelung der Protoplasten (Chromatophoren) vollzieht, so bleiben doch noch die Fragen zu entscheiden, einmal, ob das letztere nach der von Nägeli aufgestellten, auch heute noch von einzelnen Seiten vertretenen Theorie durch Einlagerung (Intussusception) oder durch Anlagerung (Apposition) erfolge, dann, ob die sichtbaren abwechselnd schwächer und stärker lichtbrechenden Schichten in Folge einer nachfolgenden Differenzirung in der homogenen Stärkesubstanz oder der periodischen Ausscheidung verschieden dichter Stärkesubstanz seitens des Protoplasten entstanden seien. Zur Orientirung über diese Frage können wir auch isolirte Stärkekörner aus den betreffenden Geweben benutzen, da hierzu das Verhalten der stärkebildenden Protoplasten, soweit dasselbe nicht schon oben berücksichtigt wurde, nicht mehr so sehr ins Gewicht fällt. Wenden wir uns zunächst zu den einfachen Stärkekörnern, so stellen die hier zu beobachtenden jüngsten Entwickelungszustände kleine, je nach der Gestalt des Protoplasten, kugelige oder elliptische Körner dar, welche in ihrem Centrum entweder schon den sogenannten Kern erkennen lassen, oder dessen hier und für die Folge entbehren, so dass in diesem Falle das fertige Korn einen Kern nicht besitzt (Fig. 408, 22 *a* und *b*). Die weiter fortschreitenden Entwickelungszustände, welche sich durch fortdauernde Vermehrung der Schichten kenntlich machen, sind in der Figur 408, in der Reihenfolge von 2—9, 10—15, 17—21

Digitized by Google

dargestellt. Ein sicherer Schluss über die Berechtigung der Nägeli'schen oder der älteren und neueren Theorie des Wachsthums und der Schichtenbildung ist aus den dargestellten Entwickelungsstufen nicht zu ziehen. Man könnte ja allenfalls und davon abgesehen, dass bei einer Entwickelungsweise im Nägeli'schen Sinne doch unter Umständen einmal breitere, stärker lichtbrechende, sich später in drei Blätter differenzirende Schichten zur Anschauung kommen müssten, die Sonderung der verschiedenen helleren und dunkleren, d. h. stärker und schwächer lichtbrechenden Schichten ebensowohl durch eine periodische Ablagerung letzterer unter verschiedenen Bedingungen verursacht, als aus der späteren Differenzirung einer ursprünglich homogenen Substanz hervorgegangen betrachten. Dagegen wird die nähere Prüfung der von Nägeli als für seine Theorie beweisend aufgeführten Thatsachen hier die erforderlichen Punkte zur Entscheidung gewähren. Die von Nägeli auf Grund fertiger Zustände ausgesprochene Behauptung, dass der innere Theil des wachsenden Stärkekornes weicher, wasserreicher sei und dasselbe immer mit einer dichten, stark lichtbrechenden Schicht abschliesst, sowie, dass die während des Wachsthums entstehenden Risse senkrecht auf dem Schichtenverlauf stehen, erscheinen für die Einlagerungstheorie insofern nicht an sich beweisend, als dies auch in anderer Weise erklärt werden könnte. Aber es lässt sich, wie A. Meyer dargelegt hat, nachweisen, dass der Abschluss des im Wachsthum begriffenen Kornes auch mittelst einer schwach lichtbrechenden Schicht erfolgen kann. Zu dem Ende sammelt man Kartoffelknollen von einer möglichst grob geschichtete Stärkekörner erzeugenden Sorte von dem ersten Knollenansatze an bis zu dem Absterben des Krautes, stellt sich durch sofort nach der Einsammlung vorgenommenes Zerreiben der auf einander folgenden Entwickelungszustände rohe Stärke her und bewahrt diese in Chloroformwasser zur Untersuchung auf. Die Beobachtung nimmt man, nachdem die Stärkekörner schnell mittelst Fliesspapier abgetrocknet worden sind, in einer dem Stärkekorn an Lichtbrechungsvermögen gleich kommenden Mischung von Salicylsäure-Methylester, Alkohol und Wasser vor, und wird dann finden, dass sich unter den Stärkekörnern eines Entwickelungszustandes der Knollen theils solche mit einer äusseren verhältnissmässig schwächer lichtbrechenden, theils solche mit einer verhältnissmässig stärker lichtbrechenden dichteren Schicht finden. Ebensowenig wie die vorhergehende, können die Angaben, dass bei einigen Stärkekörnern die jungen Körner constant eine andere Gestalt besässen, als die eingeschlossenen Schichten der älteren und dass Schichtencomplexe im Inneren grosser Körner vorhanden seien, welche frei als selbständige Körner nicht vorkämen auf Gültigkeit Anspruch machen. In Bezug auf die erstere, welche sich ja nur auf einige — insbesondere auf die von Dentaria digitata — Stärkekörner stützt, während, wie aus dem Vorhergehenden hervorgeht, bei anderen das Gegentheil der Fall ist,

Digitized by Google

hat der Fehlschluss seinen Grund darin, dass Nägeli kleinere und grössere unter verschiedenen Lebensverhältnissen entstandene Körner einfach als jüngere und ältere mit einander verglichen hat. Die andere, auf gewisse Stärkekörner im Wurzelstock von Canna gestützte, beruht darauf, dass in dem angeführten Beispiele Körner beobachtet wurden, welche vorerst in kräftigem Lösungsvorgange begriffen waren, und dann, nachdem sie eine den Figuren 43, II. *c* und 410, 6 entsprechende walzen- bis spindelförmige Gestalt angenommen hatten, durch secundäre Neubildung von Stärke neue Schichten aufgelagert erhielten. Solche „polytone" Körner finden sich, wie wir weiter oben gesehen, zuweilen in der Kartoffelfrucht (Fig. 410, 6) und bei Pellionia, häufiger in den Speicherschuppen von Adoxa moschatellina (A. Meyer), den Wurzelstöcken von Canna (Schimper) und Phajus grandifolius (Fig. 43 II *c*, S. 83). Dass endlich junge Stärkekörner bisweilen bis zu einer bestimmten Grösse homogen bleiben und dann erst im Inneren Schichtung zeigen, widerspricht den Thatbeständen, welche fast allgemein beobachtet werden können, und beruht diese Angabe auf einer gleichen Verwechselung wie bei den vorvorhergehenden.

Für die Ablagerung neuer, aus je einer inneren weicheren und einer äusseren dichteren Lamelle bestehender Schichten von aussen, also das Wachsthum durch Apposition, bietet nun aber, wie ich schon in der ersten Auflage (1869), S. 26, wo ich bereits der Intussusceptionstheorie gegenübergetreten, gezeigt habe, die Entstehung der mehrgliedrigen, d. h. der sogenannten Theilkörner oder halbzusammengesetzter Stärkekörner Nägeli's (Fig. 409 und 411, 12—15) einen schlagenden Beweis und widerlegt die von Nägeli auf Grund der falschen Annahme, dass die Stärkekörner im Freien im Protoplasma oder Zellsaft heranwüchsen, aufgestellten Einwendungen auf das Entschiedenste. Zunächst lassen die jüngsten zu beobachtenden Entwickelungszustände der mehrgliedrigen (complexen) Stärkekörner (der Doppelkörner), wie die späteren Entwickelungsfolgen gar keinen Zweifel darüber, dass sie aus der Verwachsung zweier einfachen Körner, nicht aber aus der Differenzirung zweier Kerne in einem Korne hervorgegangen sind, was, wie wir oben gesehen haben, sowohl im jüngsten Zustande (Fig. 409, 9 und Fig. 43 *a*) als im späteren Alter geschehen kann (Fig. 409, 5—8 und Fig. 43, *b*—*d*), wobei dann der innere Theil des Theilkornes uns in den Theilkörnern ganz dieselben Gestalten vor Augen führt, wie sie bei den noch frei in dem Protoplasten (Chromatophor) heranwachsenden Körnern vorkommen. Ebenso stellen sich die späteren Schichten — auch bei in Lösung gewesener Körner — so dar, dass man eine Anlagerung von aussen anzunehmen vollkommen berechtigt sein darf. Besonders belehrend sind solche zweigliedrige (halbzusammengesetzte) Körner, wie sie in Fig. 43 *d* und 411, 13 dargestellt sind und für deren — von Nägeli als Beweis für seine Theorie in Anspruch genommene — Ausgestaltung, in Folge der Abhängigkeit

Digitized by Google

des Schichtenverlaufes von der Ausgestaltung des Protoplasten und der dadurch bedingten Zufuhr des Nährstoffes, sich schon in sehr jungen wie in älteren Entwickelungszuständen die Erklärung findet.

Literatur: Die älteren Angaben über das Wachsthum der Stärkekörner finden sich in den Schriften von Schleiden, Mohl u. A.

Belzung: Recherches morphologiques et physiologiques sur l'amidon et les grains de Chlorophylle. Ann. de sc. natur. 7. Serie 1887, Tom. 5, p. 179. Nouvelles recherches sur l'origine des grains d'amidon et des grains chlorophyllières. Ann. d. sc. natur. Bot. 1891, Tom. 13, p. 1.

A. Binz: Beiträge zur Morphologie und Entstehungsgeschichte der Stärkekörner. Flora 1892, Bd. 76 (Ergänzungsband), S. 34.

A. Dodel: Beitrag zur Morphologie und Entwickelungsgeschichte der Stärkekörner von Pellionia Daveauana. Flora 1892, Bd. 75, S. 267.

A. Meyer: Ueber die Structur der Stärkekörner. Botan. Zeitung 1881, S. 841. Das Chlorophyllkorn in chemischer, morphologischer und biologischer Beziehung. Leipzig 1883.

A. Meyer: Untersuchungen über die Stärkekörner. Jena 1895.

Mikosch: Untersuchungen über den Bau der Stärkekörner. Wien 1887.

C. Nägeli: Die Stärkekörner. In: Pflanzenphysiologische Untersuchungen von Nägeli und Cramer 1858, Heft 2. Das Wachsthum der Stärkekörner durch Intussusception. Botan. Zeitung 1881, S. 633.

Potter: On the development of starch grains in the lactiferous cells of the Euphorbiaceae. Journ. of the Lim. soc. Bot. XX, p. 446 und Botan. Centralbl. 1884, Bd. 18, S. 31.

A. F. W. Schimper: Untersuchungen über die Entstehung der Stärkekörner. Bot. Zeitung 1880, S. 881. Erwiderung. Botan. Zeitung 1883, Nr. 49. Sur l'amidon et les leucites. Ann. d. sc. natur. Ser. 7. Botan. 1887, Bd. 5, S. 77.

Strasburger: Anlage und Wachsthum der Stärkekörner. In: Ueber den Bau und das Wachsthum der Zellhäute. Erste und folgende Auflage.

Viertes Kapitel.

Entstehung der Pflanzenzellen.

I. Kerntheilung.

Man unterscheidet zwei verschiedene Formen der Kerntheilung. Bei der einen, welche vorzüglicher Weise bei sich theilenden Zellen der höheren Gewächse zu beobachten ist, finden innerhalb des Mutterkernes ziemlich verwickelte Vorgänge statt und es wird dieselbe als mittelbare oder „indirecte“ Kerntheilung, Kernsegmentirung, „Karyokinese“, „Mitose“ bezeichnet. Die andere, welche bei den höheren Gewächsen nur in älteren, wohl nicht mehr theilungsfähigen Zellen auftritt, vollzieht sich durch einfache Einschnürung und wird als unmittelbare, „directe, amitotische“ Kerntheilung, „Amitose“ bezeichnet.

Digitized by Google

1. Mittelbare Kerntheilung (Karyokinese)*).

Zum Studium der mittelbaren Kerntheilung eignen sich besonders das wandständige Protoplasma der Embryosäcke, namentlich von Monokotyledonen, sodann die Kerntheilung in den Mutterzellen der pollenbildenden Zellen der Angiospermen, unter denen wieder die Monokotyledonen voranstehen.

Da wegen des geringen Unterschiedes in dem Lichtbrechungsvermögen der S. 32 u. f. näher betrachteten Kernbestandtheile die einschlägigen Beobachtungen an lebendem Materiale kaum mit Erfolg ausgeführt werden können, und bisher auch Lebendfärbungen nicht zum Ziele geführt haben, so müssen wir uns vorläufig noch an solche von gehärteten und gefärbten Objecten halten.

Es sind nun im Laufe der Zeit, während der die Untersuchungen über die mittelbare Kerntheilung von fast allen Seiten mit grossem Eifer betrieben wurden, für die verschiedenen Objecte, welche diesen unterlegen haben, eine grosse Anzahl von Härtungs- und Färbungsmethoden erfunden und angewendet worden. Es können dieselben hier jedoch nicht weiter verfolgt werden und müssen wir uns im Nachfolgenden unter Verweisung auf die betreffenden Sonderwerke auf die einfachsten zum Ziele führenden beschränken.

A. Kerntheilung im Wandbelege der Embryosäcke.

Eines der geeignetsten Objecte für die hier sich abspielenden Vorgänge bietet die überall leicht zu beschaffende und vielfach verwendete Frittilaria imperialis (Kaiserkrone) von der man angeschnittene Fruchtknoten von im Aufblühen begriffenen und abgeblühten Blüthen in absoluten Alkohol bringt. Ist die Härtung vollzogen, was etwa acht bis zehn Tage erfordert, so legt man die Objecte 24 Stunden lang in die von Strasburger empfohlene Mischung von gleichen Theilen Alkohol und Glycerin, nimmt dann die einzelnen Samenknospen heraus und halbirt dieselben. Aus den von dem genannten Gemische umhüllten Hälften löst man dann den Wandbeleg unter dem Präparirmikroskope mittelst der Nadeln aus den Embryosackhälften heraus, wäscht mit Wasser das Glycerin aus und färbt auf dem Objectträger mittelst mit destillirtem Wasser zur Hälfte verdünnter alkoholischer Safraninlösung, oder auch zur Doppelfärbung zunächst mit sehr verdünntem Delafield'schem Hämatoxylin und nach dem Auswaschen mittelst Wassers und schwach angesäuerten Alkohols mit Safranin. Die erhaltenen Präparate werden dann in der schon mehrfach erörterten Weise in Canadabalsam eingelegt beobachtet.

---

*) Für zur eingehenden Beobachtung der mittelbaren Kerntheilung mir freundlichst zur Verfügung gestandene Präparate bin ich den Herren Professor Dr. Schenck und Emil Heuser zu hohem Danke verpflichtet.

Digitized by Google

Hat man die so behandelten Objecte unter dem Mikroskope bei etwa 90- bis 120-facher Vergrösserung durchmustert und darunter solche gefunden, welche Kerntheilung zeigen, so wird man von ausreichend grossen Belegstücken meist sämmtliche Theilungszustände vorfinden, da die Kerntheilungen in bestimmter Richtung fortschreiten (Fig. 412). Die Beobachtung der einzelnen Entwickelungsstadien wird dann mittelst der stärksten und schärfsten Vergrösserungen, am besten mittelst Objectivsystem der homogenen Immersion — und zwar sowohl in abgeblendetem Lichte, als im Farbenbilde vorgenommen.

Der ruhende Zellkern lässt bei seiner erheblichen Grösse leicht den auf S. 32 u. f. geschilderten feineren Bau erkennen (Fig. 413 a). Sobald sich derselbe zur Theilung anschickt, geht das Maschenwerk des Kerngerüstes in einen, sich mehr und mehr verkürzenden und verdickenden, knäuelartig hin- und hergewundenen, die Chromatinscheibchen deutlich zeigenden Faden über und bildet die Knäuelform oder das Spirem der Strasburger'schen Prophasen (Fig. 413 b). Demnächst zerfällt der Kernfaden, während die Kernhaut allmälig schwindet, in eine — für jede Art bestimmte — Anzahl von etwa gleichlangen verschieden gekrümmten Stücken: die Segmente (Chromosomen, Waldeyer). Diese strecken sich quer zur Längsachse des Kernes und biegen sich zu einseitswendigen Schleifen ein, welche sich demnächst in zwei den beiden Hälften des Kernes entsprechende Gruppen sondern und sich um 90° drehend, zum grössten Theile wenig-

Fig. 412.

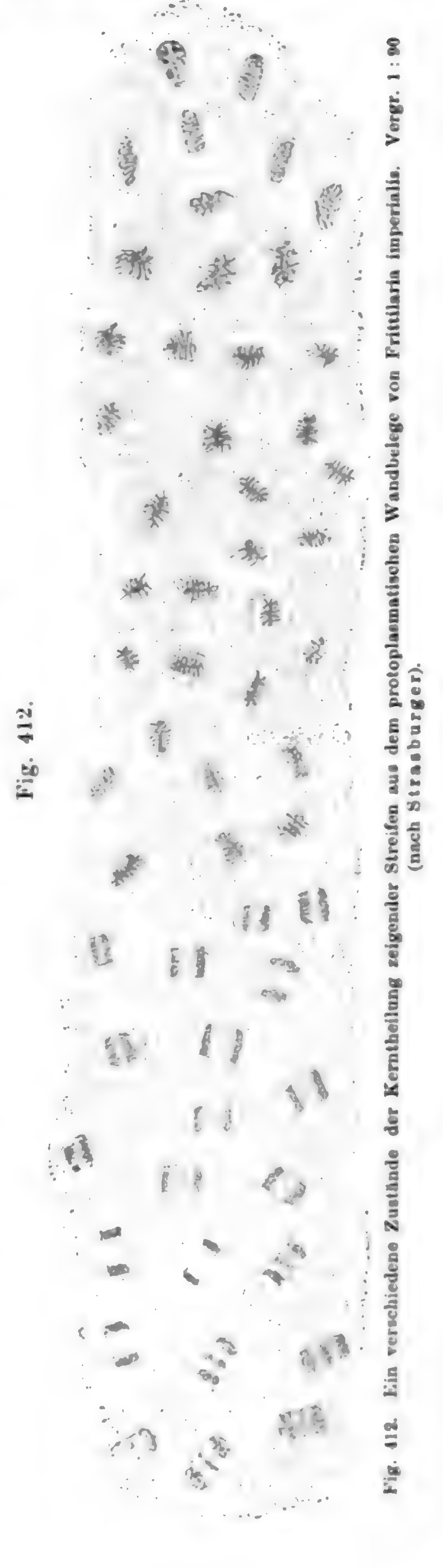
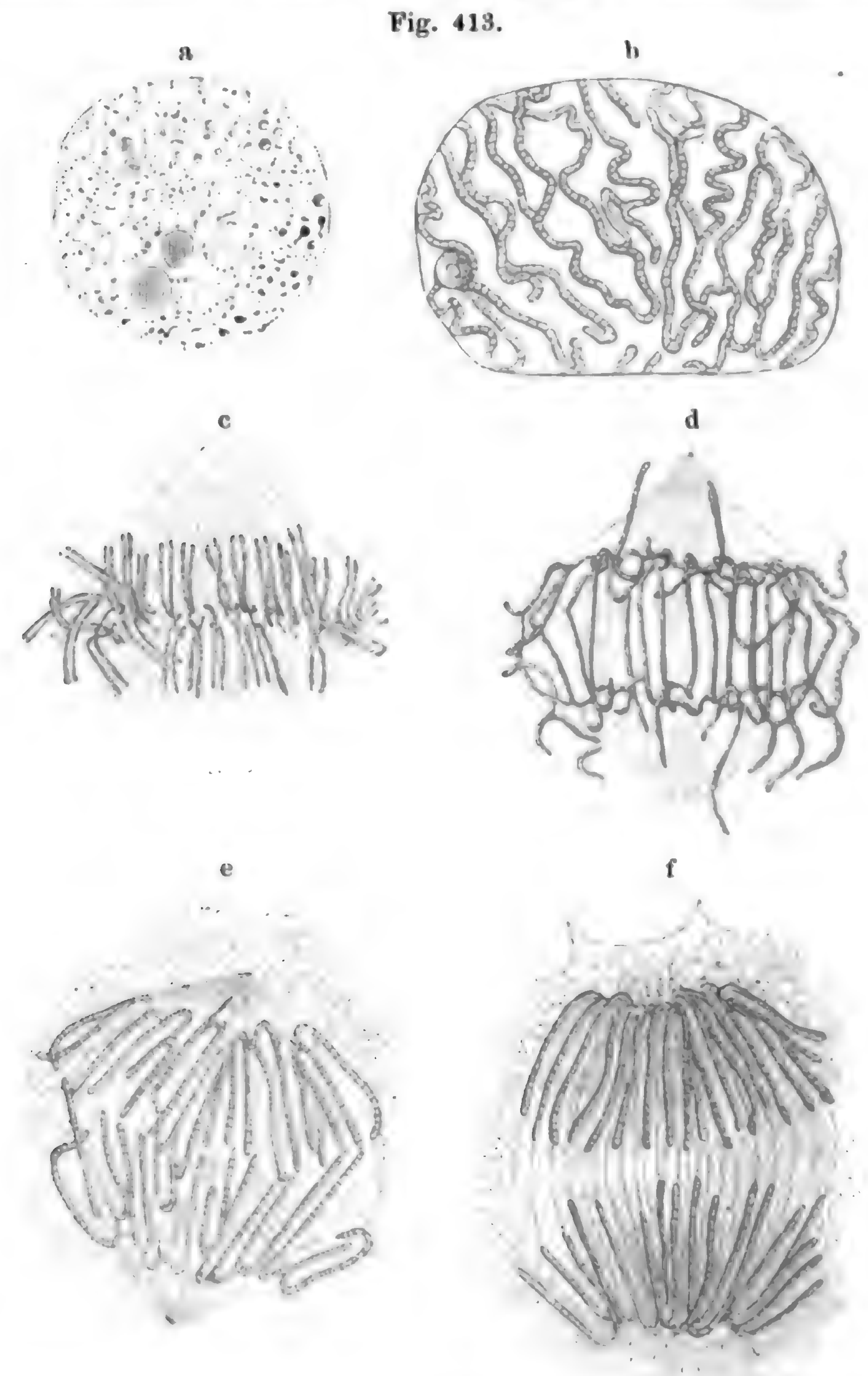


Fig. 412. Ein verschiedene Zustände der Kerntheilung zeigender Streifen aus dem protoplasmatischen Wandbelege von Fritillaria imperialis. Vergr. 1 : 90 (nach Strasburger).

stens derart in die Theilungsebene (Aequatorialebene) des Kernes lagern, dass sie ihre freien Enden den beiden Polen des Kernes zukehren, während ihre hakenförmig gebogenen in jener liegen und mit diesen aneinanderstossen. Während dieses Vorganges treten zwischen den die

Fig. 413.



Kernplatte bildenden Fadenabschnitten von Pol zu Pol verlaufende, nach diesen zusammenlaufende feine faserartige Gebilde, die Spindelfasern auf und es ist der als Mutterstern, Sternform, Asteroid, Monoasteroid bezeichnete Zustand erreicht. Jetzt beginnen die

Digitized by Google

Segmente sich bandartig zu verbreitern, dann tritt eine farblose Längslinie in deren Mitte und damit die Theilung derselben in zwei Längs-

Fig. 413.

g h

i k

Fig. 413. Kerntheilung im Embryosack von Frittilaria imperialis. a Ruhender Zellkern im optischen Durchschnitt, b Kern im lockeren Knäuelzustand in Seitenansicht, nur die im Umfange verlaufenden Kernfäden bei veränderter Einstellung gezeichnet, c Kernspindel mit längsgespaltenen Segmenten in der Aequatorialebene, d Trennung und Umlagerung der Segmente, e bis g die Wanderung der Segmente an den Spindelfasern nach den Kernpolen zeigend, h Anlage der Tochterkerne, i Bildung der Kernwandung um die Tochterkerne, k Tochterkerne mit deutlicher Kernwandung und zu dem Kern-(Chromatin-)gerüste vereinigten Segmenten. Vergr. 1 : 1000 (nach Strasburger).

hälften auf, so dass nun die Aequatorial- oder Kernplatte aus der doppelten Anzahl von Elementen besteht (Fig. 413 c). Hiermit sind

Digitized by Google

die Prophasen beendet. Die Tochtersegmente (Tochterchromosome) weichen in der Metaphase (Metakinese) aus einander (Fig. 413 d) und während von jedem Schwesterpaare das eine Tochtersegment an seinem ursprünglichen Orte verbleibt, durchwandert das andere die Aequatorialebene nach der entgegengesetzten Seite und biegt sich nach der betreffenden Polseite hin durch Umgestaltung hakenförmig um, indem sie ihre hakenförmig gekrümmten Enden den beiden Kernpolen zuwenden (Fig. 413 e). Der nächste Schritt giebt sich darin zu erkennen, dass die Tochtersegmente längs der Spindelfasern nach den Polen der Kernspindel rücken, an den nach diesen hingewendeten Enden mehr oder weniger zusammenneigen, an den nach dem Aequator gewendeten, zwischen denen die Spindelfasern kenntlich sind, dagegen auseinanderspreizen (Fig. 413 e bis g). So entsteht der in der Polansicht eine etwa sternförmige Figur bildende Tochterstern „Diaster“. Die Segmente gleichen nun die Länge ihrer Schenkel mehr und mehr aus, nähern sich einander, biegen sich wellig hin und her (Fig. 413 h), ziehen ihre nach dem Aequator gewendeten Enden nach dem Innern der Neuanlage ein und bilden, während die Kernwandung ausgebildet wird, dichte Fadenknäule, die Tochterknäule, „Dispireme“, zwischen welchen die Verbindungsfäden verlaufen (Fig. 413 i u. k). Indem hierauf der Fadenknäuel der Tochterkerne immer dünner und verschlungener wird und die neugebildeten Kernkörperchen auftreten, gehen diese allmälig in den Zustand über, welchen wir an dem ruhenden Kerne zu sehen gewohnt sind und es ist damit die „Anaphase“ (Strasburger) vollendet.

B. Kerntheilung bei Entstehung der Pollenmutterzellen.

Als Material zu den einschlägigen Beobachtungen sind vorzugsweise von Monokotyledonen die grosse Zellkerne besitzenden Liliaceen, von Dikotyledonen manche Ranunculaceen, Berberideen u. s. w., unter anderen Helleborus, Padophyllum, Viscum, und zwar solche Arten mit traubigen Blüthenständen also mit im Aufblühen sich stetig auf einander folgenden Blüthen zu empfehlen.

Um sich eine möglichst lückenlose Reihe von Entwickelungszuständen zu verschaffen, muss man — und dasselbe Verfahren gilt, wie hier schon erwähnt werden mag, auch für die Beobachtung der Zellbildung in den gleichen Zellen — successiv von den jüngeren, höher stehenden Blüthenknospen zu den älteren, tiefer stehenden fortschreiten, da in den Antheren einer und derselben Blüthenknospe sich höchstens immer nur eine oder einige Entwickelungsstufen finden. Davon ob in den ausgewählten Blüthenknospen die erwähnten Entwickelungszustände vorhanden sind, kann man sich leicht durch einen Vorversuch überzeugen. Man öffnet eine derselben, trennt einen Staubfaden ab, legt ihn unter Deckglas in eine einprocentige Lösung von Jodgrün-Essigsäure und bringt die Staubbeutelfäden durch Druck zum Platzen. Der

Digitized by Google

entleerte Inhalt wird dabei durch die Essigsäure gehärtet und durch das Jodgrün gefärbt, so dass wir sogleich wahrnehmen können, ob in den Pollenmutterzellen nur ruhende Zellkerne oder Theilungszustände vorhanden sind. Erstere mit ihren feinen Fadenknäulen werden wir in den noch dünnwandigen Mutterzellen sehr junger Knospen, letztere in denen mit verdickten Wänden etwas älterer Knospen finden, und wir werden in den Stand gesetzt sein, die betreffenden Objecte für die verschiedenen Entwickelungszustände zu eingehender Beobachtung auszuwählen. In diesen werden die lebendigen Zellleiber entweder durch längeres Einlegen der Staubgefässe in absoluten Alkohol oder durch rasche, bei angeschnittenen Staubbeuteln geschehende Zuführung von Sublimatlösungen oder des Flemming'schen Chromsäuregemisches (nach Mottier am besten bestehend aus: 16 ccm einprocentiger Chromsäure, 3 ccm dreiprocentiger Osmiumsäure, 1 ccm Eisessig) gehärtet und dann entweder einfach in der im Vorstehenden beschriebenen Weise mit Safranin oder Gentianaviolett (S. 33) gefärbt oder der Doppelfärbung mit Fuchsin-Jodgrün *) oder endlich der Dreifachfärbung mittelst Safranin-Gentianaviolett-Orange (Flemming) **) unterworfen werden.

Für unseren Zweck wollen wir auch hier bei dem S. 592 beschriebenen einfacheren Verfahren verbleiben, indem wir angeschnittene Staubbeutel (bei grösseren Objecten etwa Längsschnitte) in die betreffende Färbeflüssigkeit bringen und wie im Vorausgehenden verfahren.

Verfolgen wir die Entwickelungsvorgänge bei Frittilaria persica, entweder an aus den Staubbeuteln heraus präparirten Mutterzellen oder an Längsschnitten, so werden sich dieselben in folgender Weise darstellen.

Der ruhende Zellkern zeigt den feinfädigen Knäuel mit wandständigem Kernkörperchen. Sobald sich derselbe zur Theilung anschickt, verdickt sich der Fadenknäuel und seine Windungen strecken sich mehr und mehr (Fig. 414 a). Nun tritt eine immer deutlichere Sonderung der Chromatinscheiben auf, es zerfällt der Kernfaden durch

*) Die Objecte bringt man bei dieser Färbung vorerst in eine Lösung von 1 Thl. concentrirter wässeriger Fuchsinlösung und 9 Thln. 0,1procentiger Jodgrünlösung und lässt sie darin etwa 8 Minuten lang verweilen. Hierauf werden sie mit einem Gemisch von 100 ccm absolutem Alkohol, 1 ccm Eisessig und 0,1 g Jod ausgewaschen, zur Aufhellung in Xylol eingetragen und in Xylol-Canadabalsam eingebettet.

**) Man legt die Objecte zunächst 2 bis 3 Tage in die voranstehend beschriebene Safraninlösung, wäscht sie zunächst mit 0,1 Proc. Salzsäure enthaltendem Alkohol, dann mit destillirtem Wasser aus. Hierauf bringt man dieselben auf 1 bis 3 Stunden in eine concentrirte wässerige Lösung von Gentianaviolett und hieraus nach dem Auswaschen in destillirtem Wasser eine bis wenige Minuten lang in eine concentrirte, wässerige Lösung von Orange. Das Auswaschen geschieht zunächst mit absolutem Alkohol und wird dann in Nelken- oder Bergamotöl so lange fortgesetzt, als noch blaue Farbwolken entweichen. Zur Umhüllung der so hergerichteten Präparate wird Xylol-Canadabalsam verwendet.

Digitized by Google

Quertheilung in eine bestimmte Anzahl schon bald längsgespaltener Segmente oder Chromosomen, von denen die Schwesterpaare der Länge

Fig. 414.

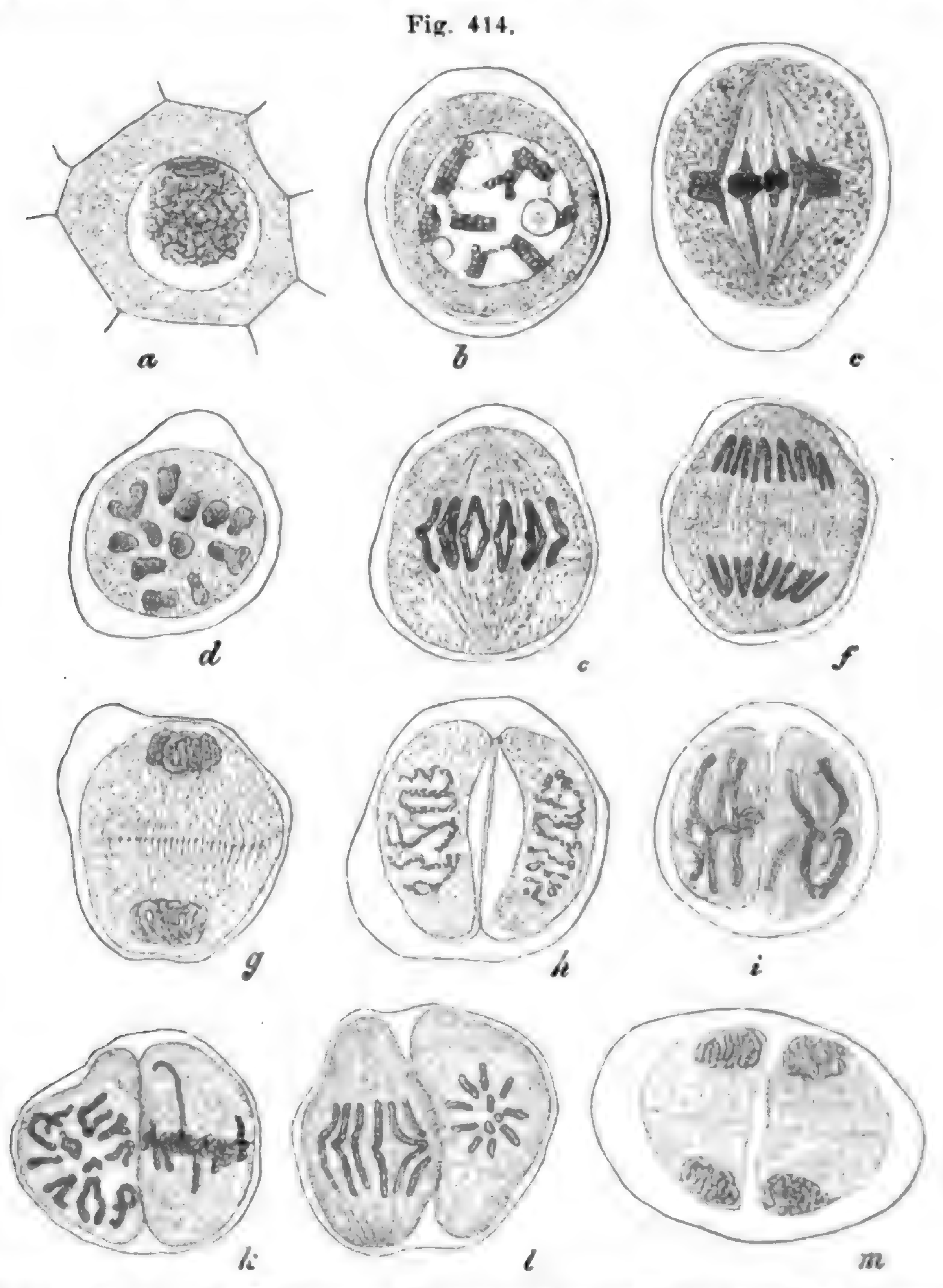


Fig. 414. Kerntheilung bei Entstehung der Pollenmutterzellen von Frittilaria persica. a Knäuelzustand des Mutterkernes, b die Kernsegmente in Längstheilung begriffen, c die Kernspindel in Seitenansicht, d desgleichen vom Pole aus gesehen, e Theilung der Kernplatte, f Auseinanderweichen der Tochtersegmente, g Bildung der Tochterknäuel, h Verlauf des Kernfadens in dem Tochterkerne, i Längsstreckung und Schleifenbildung, k Kernspindel, rechts in der Seitenansicht, links vom Pole aus gesehen, l Trennung der Tochtersegmente, rechts in der Seitenansicht, links vom Pole aus gesehen, m Enkelknäuel. Vergr. 1 : 800 (nach Strasburger).

nach mehr oder weniger verschmelzen, und der Kernwandung anlagern (Fig. 414 b). In gleicher Zeit wird das Kernkörperchen aufgelöst und

Digitized by Google

es entstehen die theils an die Chromosomen ansetzenden, theils von Pol zu Pol [bei gewissen Pflanzen, z. B. Podophyllum, auch nach verschiedenen Punkten (Fig. 415 c)] zusammenlaufenden Fasern der Kern-

Fig. 415.

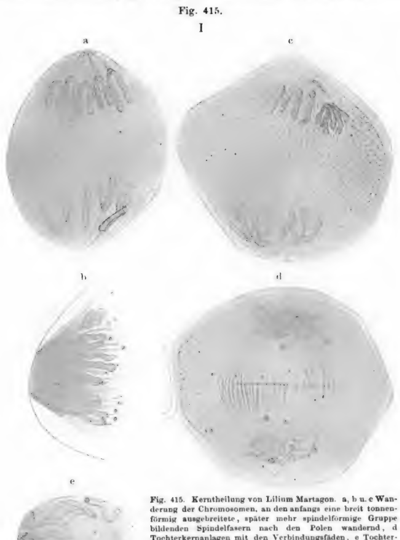
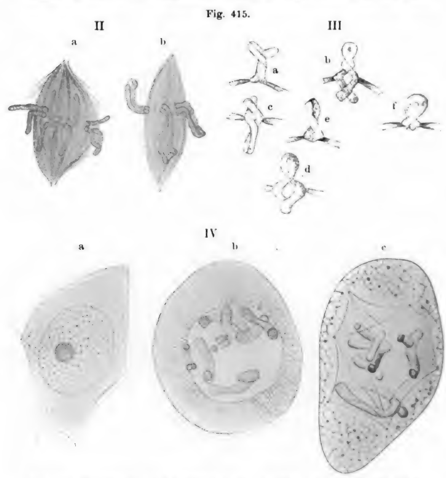


Fig. 415. Kerntheilung von Lilium Martagon. a, b u. c Wanderung der Chromosomen, an den anfangs eine breit tonnenförmig ausgebreitete, später mehr spindelförmige Gruppe bildenden Spindelfasern nach den Polen wandernd, d Tochterkernanlagen mit den Verbindungsfäden, e Tochterkern im lockeren Knäuelzustand. II Zusammengelegte, an einem Ende noch nicht durchbrochene Chromosome an den Spindelfasern bei der zweiten Theilung, a von Frittilaria persica, b von Lilium Martagon. III, a bis f verschiedene an den Spindelfasern wandernde Chromosome. IV, a Junge Mutterzelle von Podophyllum peltatum mit ruhendem Kern, dessen Kerngerüste (Linin) Chromatinkörperchen eingestreut sind, b Mutterzelle, von deren Kern nach allen Richtungen Spindelfasern ausstrahlen, c eine vielpolige Spindel. Vergr. 1 : 1500 (nach Hottier).

Digitized by Google

spindel. Der nächste Entwickelungsschritt vollzieht sich durch Umlagerung der Chromosomen in den Aequator zur Kernplatte (Fig. 414 c u. d). Die zusammengeklappten Chromosomen nehmen jetzt, während die Kernhaut allmälig schwindet, eine V-förmige Gestalt an mit nach den Polenden gewendeter Umbiegungsstelle (Fig. 414 e), dann wandern dieselben in der im Vorausgehenden näher beschriebenen Weise an den

Fig. 415.

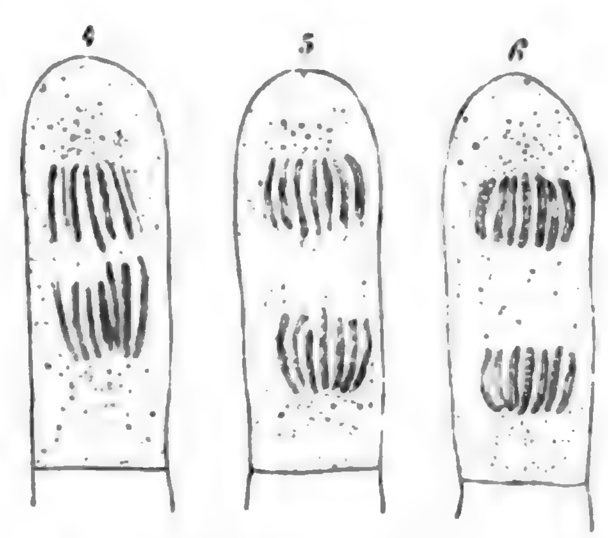


sich contrahirenden Spindelfasern allmälig nach den beiden Polenden (Fig. 414 e und f) und treten, die Verbindungsfäden zwischen sich lassend, zu dem Tochtersterne zusammen. Endlich werden die nach dem Aequator gewendeten Enden der Chromosomen, während diese perlschnurartige Einschnürungen zeigen, eingezogen, es verschmelzen dieselben, indem sie einen geschlängelten Verlauf annehmen, an ihren beiden Enden mit einander und es entstehen die dichten Tochter-

Digitized by Google

knäuel (Fig. 414 g), die sich mit einer Haut umgeben, womit die Tochterkerne fertig sind und das Aussehen der ruhenden Kerne annehmen (Fig. 414 h). Diese gehen nun in der gleichen Weise einen neuen Theilungsprocess ein, bei welchem sich die geschilderten Vorgänge mit etwas abweichender Gestaltung der Theilungsfiguren wiederholen.

Durch die Verwendung von mittelst der auf S. 597 in der Anmerkung beschriebenen Dreifachfärbung, bei der sich im theilenden Kern das Chromatin purpurroth, die Kernkörperchen heller roth, die Spindelfasern violett und das Protoplasma braun, grau oder unscheinbar blau färben, behandelten Mikrotomschnitten zur Beobachtung ist neuerdings über die feinere Structur des Zell- und Kernplasmas wie über die Kerntheilungsfiguren eine Reihe von Ergebnissen erzielt worden, welche an einigen Figuren in wenigen Zügen kurz veranschaulicht werden mögen.



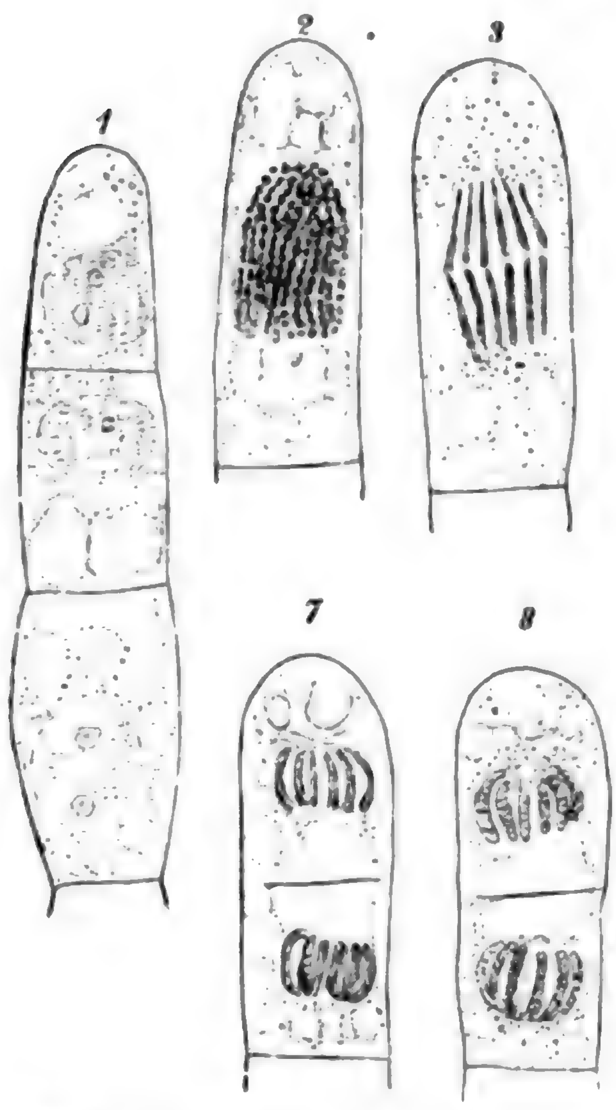


Fig. 416. Kerntheilung in den Staubfädenhaaren von Tradescantia virginica. 1 Zellen mit ruhenden Kernen, 2 Zelle mit einem schräggrobkörnige Streifung zeigenden Kern, 3 bis 8 verschiedene Kerntheilungszustände in derselben Zelle, während des Verlaufes einer halben Stunde beobachtet. Vergr. 1 : 540 (nach Strasburger).

Will man sich schnell einen Ueberblick über die Umgestaltung der chromatischen Figur während der Kerntheilung in der Aequatorialansicht verschaffen, so beobachtet man die noch in lebhafter Zelltheilung begriffenen Haare der schon aus dem Früheren (S. 20) bekannten Staubfädenhaare von Tradescantia virginica in einer indifferenten Zusatzflüssigkeit — etwa einer dreiprocentigen Zuckerlösung — in der feuchten Kammer. Knospen, welche ohne den Stiel eine Höhe von 5 bis 6 mm besitzen, werden das passende Material liefern.

Digitized by Google

Man löst die Staubfäden unter dem einfachen Mikroskope mittelst der Nadel ab und sucht die zwischen denselben haftende Luft nach Entfernung des Fruchtknotens und anderer Blüthentheile durch eine mittelst Druckes auf das Deckglas herbeigeführte möglichst flache Ausbreitung des Beobachtungstropfens zu entfernen. Die sich abspielenden Vorgänge werden sich dann im günstigen Falle, in dem man auf Zelltheilungszustände getroffen ist, während entsprechender Dauer der Beobachtungszeit, meist an derselben Zelle, in der in Fig. 416 dargestellten Weise verfolgen lassen.

2. Unmittelbare Kerntheilung.

Diese Form der Kerntheilung, auch als Kerntheilung durch Einschnürung, Kernfragmentation, amitotische Kerntheilung und Amitose bezeichnet, hat in der Pflanzenwelt eine nur geringe Verbreitung und findet sich namentlich in nicht mehr theilungsfähigen, älteren parenchymatischen Zellen der höheren Gewächse, sodann in den lebenskräftigen Intermedialzellen der Characeen, ferner bei niederen Gewächsen, wo indessen deren Verbreitung noch nicht festgestellt ist. Die unmittelbare Kerntheilung ist dadurch gekennzeichnet, dass bei derselben der innere Bau des Kernes keine sichtbare Veränderung erleidet, also weder die Bildung von Chromosomen noch von Spindelfasern stattfindet, sondern dass eine einfache Theilung des Mutterkernes in die Tochterkerne stattfindet.

Fig. 417.

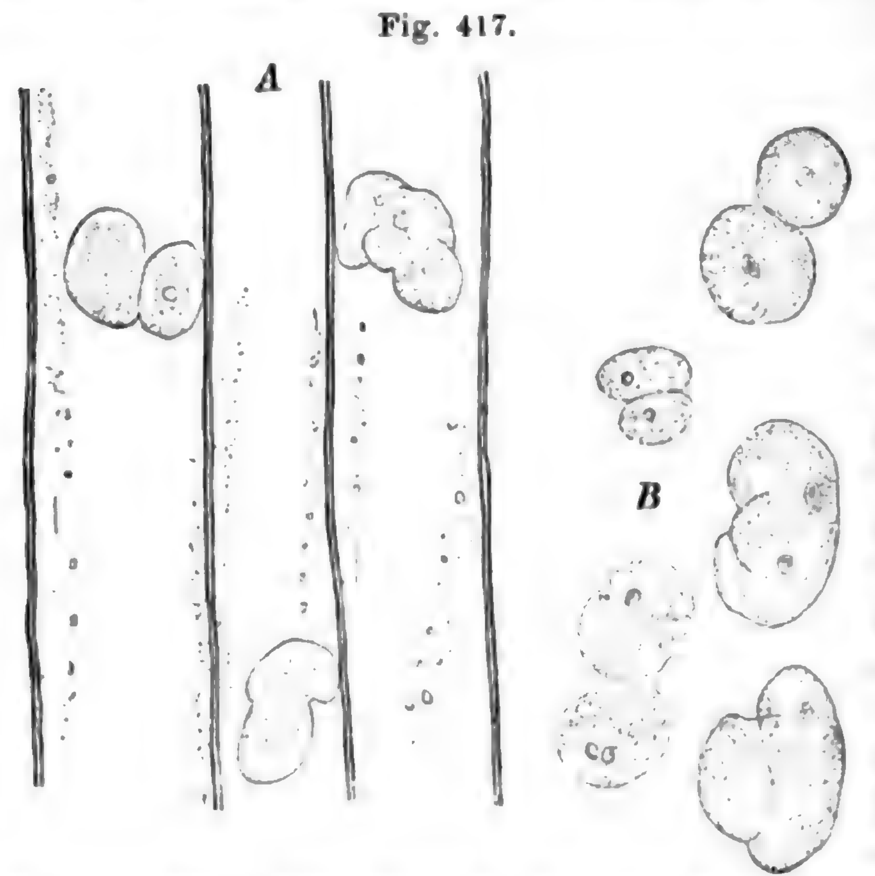


Fig. 417. Zellkerne älterer Parenchymzellen von Tradescantia virginica in unmittelbarer Theilung begriffen. A nach dem Leben, B nach Behandlung mit Methylgrün-Essigsäure. Vergr. 1 : 540 (nach Strasburger).

Ein leicht zu beschaffendes Object zur Beobachtung der betreffenden Vorgänge bilden namentlich die Parenchymzellen älterer Stengelglieder von Tradescantia virginica. An Längsschnitten, die man zunächst in Wasser untersuchen kann, lassen sich häufig die Theilungszustände in grosser Zahl auffinden. Die Kerne erscheinen, sobald sie

Digitized by Google

in Theilung begriffen sind, in mehr oder minder grosse und verschiedengestaltige Abschnitte eingeschnürt, und daher je nach dem Einsetzen der Einschnürung bald nierenförmig, bald bis kreisförmig, bald unregelmässig gelappt (Fig. 417 A u. B). Bisweilen werden die Abschnitte nur noch durch eine fadenförmige Brücke mit einander verbunden. Ist die Abschnürung vollendet, dann liegen die verschieden grossen Tochterkerne bald noch dicht an einander, bald mehr oder minder weit von einander entfernt. Da sich nun die Theilstücke wiederholt theilen können, so trifft man oft in einer Zelle eine grössere Anzahl, 5 bis 10 getrennte Kerne.

Härtung und Färbung lässt sich ausreichend mittelst Jodgrün-Essigsäure ausführen, wobei die Kerne scharf gezeichnet erscheinen. Selbstverständlich kann man auch die übrigen gebräuchlichen Härtungs- und Färbemethoden versuchen.

Von den Characeen wählt man zur Untersuchung am besten die unberindete Stengelglieder besitzende Nitella flexilis. Drückt man den Inhalt einer durchschnittenen Stengelgliedzelle in eine Lösung von Methylgrün-Essigsäure oder von Pikro-Nigrosin, so färben sich die zahlreichen, langgestreckten, in Folge der trägen Theilung oft mehrfach eingeschnürten, ein perlschnurähnliches Aussehen besitzenden Kerne sofort in einem Falle schön blau, im anderen stahlblau und sind leicht zu erkennen. Man kann auch die Stengelglieder, um den Inhalt innerhalb der Zellen zu härten und zu färben, in Pikrinsäure bringen, dann nach dem Auswaschen mit Hämatoxylin färben und die ausgedrückten Inhaltsbestandtheile in Glycerin untersuchen.

Literatur: Es sind nur die Hauptwerke berücksichtigt. Die vollständige Literatur findet sich bei Zimmermann: Morphologie etc. des pflanzlichen Zellkernes.

Baranetzky: Die Kerntheilung in den Pollenmutterzellen einiger Tradescantien. Bot. Ztg. 1880, S. 241.

Belajeff: Zur Kenntniss der Karyokinese bei den Pflanzen. Flora 1894. Ergänzungsband S. 430.

Debski: Beobachtungen über Kerntheilung bei Chara fragilis. Pringsh. Jahrb. Bd. XXX, S. 227. 1897.

Degagny: Recherches sur la division du noyau cellulaire chez les végéteaux I. Bull. d. l. soc. bot. de France 1894, p. 588 et 1895, p. 519.

Fairchild: Ueber Kerntheilung und Befruchtung bei Basidiobolus ranarum. Pringsh. Jahrb. Bd. XXX, S. 285. 1897.

Farmer: 1. On nuclear division in the pollen-mother-cells of Lilium Martagon. Ann. of Bot. 1893. Vol. 7, p. 393 und 2. Ueber Kerntheilung in Lilium-Antheren, besonders in Beziehung auf die Centrosomenfrage. Flora 1895, S. 56.

Guignard: 1. Recherches sur la structure et la division du noyau cellulaire. Ann. d. sc. nat. Bot. T. 17, p. 5. 2. Recherches sur le sac embryonaire des phanérogames. Ibid. T. 13, p. 136.

Harper: 1. Beitrag zur Kenntniss der Kerntheilung und Sporenbildung im Ascus. Ber. d. bot. Gesellsch. 1895, S. 67. 2. Kerntheilung und Zellbildung im Ascus. Pringsh. Jahrb. Bd. XXX, S. 248. 1897.

Digitized by Google

Heuser: Beobachtungen über Zellkerntheilung. Bot. Centralbl. 1884. Bd. 17, S. 27.

Joel: Die Kerntheilung in der Pollenmutterzelle von Hemerocallis fulva und die bei denselben auftretenden Unregelmässigkeiten. Pringsh. Jahrb. Bd. XXX, S. 205.

Jolow: Ueber die Zellkerne von Chara foetida. Bot. Ztg. 1881. S. 729.

Juranye: 1. Ueber den Bau und die Entwickelung des Pollens bei Cerotozamia longifolia. Pringsh. Jahrb. Bd. VIII, S. 382. 1872. 2. Beiträge zur Kenntniss der Pollenentwickelung der Cycadeen und Coniferen. Bot. Ztg. 1882, S. 814.

Mottier: Beiträge zur Kenntniss der Kerntheilung in den Pollenmutterzellen einiger Dikotyledonen und Monokotyledonen. Pringsh. Jahrb. Bd. XXX, S. 169. 1897.

Osterhout: Entstehung der karyokinetischen Spindel bei den Equiseten. Pringsh. Jahrb. Bd. XXX, S. 159. 1897.

Sargant: 1. Some details of the first nuclear division in the pollen-mother-cells of Lilium Martagon. Journ. of the Roy. Micr. Soc. 1895, p. 283. 2. Direct nuclear division in the embryosac of Lilium Martagon. Ann. of Bot. 1896. T. X, p. 107.

Schaffner: 1. The nature and distribution of attractionspheres and centrosomes in vegetable cells. The Bot. Gaz. 1894, p. 445. 2. The embryo-sac of Alisma Plantago. Ibid. 1896, p. 122.

Soltwedel: Freie Zellbildung im Embryosack der Angiospermen. Jen. Zeitschr. f. Naturw. Bd. XV, S. 341.

Strasburger: 1. Zellbildung und Zelltheilung. 1875 und folgende Auflagen. 2. Ueber Befruchtung und Zellbildung. Jena 1878. 3. Ueber den Theilungsvorgang der Zellkerne und das Verhältniss der Kerntheilung zur Zelltheilung. Arch. f. mikr. Anat. Bd. XXI, S. 476 und Separatabdruck. Bonn 1882. 4. Botanisches Praktikum. 1. Aufl. 1884 u. f. Aufl. 5. Die Controversen der indirecten Kerntheilung. Arch. f. mikr. Anat. Bd. XXIII, S. 246. 1884. 6. Ueber Kern- und Zelltheilung im Pflanzenreich. Histol. Beitr. Heft 1. 1888. 7. Zu dem jetzigen Stande der Kern- und Zelltheilungsfrage. Anatom. Anz. 1893, S. 177. 8. Karyokinetische Probleme. Pringsh. Jahrb. Bd. XXVIII, S. 151. 1893. 9. Kerntheilung und Befruchtung bei Fucus. Ebend. S. 351.

Swingle: Zur Kenntniss über Kern- und Zelltheilungen bei den Sphacellariaceen. Pringsh. Jahrb. Bd. XXX, S. 297. 1897.

Tangl, E.: 1. Ueber die Theilung der Kerne in Spirogyrazellen. Sitzungsber. d. W. Akad. d. Wiss. math.-naturw. Cl. Bd. LXXXV. Abth. 1. S. 268. 2. Die Kern- und Zelltheilung bei der Bildung des Pollens von Hemerocallis fulva. Denkschr. d. math.-naturw. Cl. d. Akad. d. Wiss. zu Wien, Bd. VL. Abth. 2. S. 65. 1882.

Went: Beobachtungen über Kern- und Zellbildung. Ber. d. Bot. Ges. 1887, S. 247.

Wildemann: Sur les sphères attractives dans les cellules végétales. Bot. Centralbl. Bd. LIV, S. 19.

Zacharias: 1. Ueber Kern- und Zelltheilung. Bot. Ztg. 1888. Nr. 3. 2. Ueber Strasburger's Kern- und Zelltheilung. Ebend. Nr. 28.

Zimmermann: 1. Ueber das Verhalten der Nucleolen während der Karyokinese. Beiträge zur Morphologie und Physiologie der Pflanzenzelle. Bd. II, S. 1. 2. Die Morphologie und Physiologie des pflanzlichen Zellkernes. 1896.

Digitized by Google

II. Zellbildung.

Die Pflanzenzelle entsteht immer nur innerhalb einer anderen Zelle, welche den Namen „Mutterzelle" erhält. An der Neubildung kann aber entweder der lebendige Zellleib einer einzigen oder je zweier Zellen betheiligt sein. Im ersteren Falle unterscheidet man je nach der Antheilnahme der Zellhaut (des Primordialschlauches, H. v. Mohl, der Hautschicht neuerer Autoren) der Mutterzelle bei der Zellbildung freie Zellbildung und Zellbildung durch Theilung. Im anderen Falle bezeichnet man den Vorgang als Zellverschmelzung oder Zellbildung durch Copulation.

Bei der freien Zellbildung ist die Zellhaut der Mutterzelle an der Neubildung nicht betheiligt und die Zellhaut (Hautschicht, Primordialschlauch) der Tochterzellen wird um jede derselben neu gebildet, bei der Zelltheilung dagegen nimmt die Mutterzellhaut entschiedenen Antheil an der Entstehung der Tochterzellen.

Alle Beobachtungen über die Zellbildung sind zunächst und so weit irgend möglich an — schliesslich allein massgebenden — lebendem Materiale auszuführen und zwar muss ausser bei Pflanzen, welche im Wasser leben und in ihrem Lebenselemente — in einzelnen Fällen auch in anderem, Bach- oder Brunnenwasser, nicht aber in destillirtem Wasser — untersucht werden sollten, die Zusatzflüssigkeit mit aller Vorsicht gewählt werden, damit in dem lebendigen Zellleibe keine solche Veränderungen eintreten, die den wahren Sachverhalt mehr oder minder verdecken. Eine für jeden einzelnen Fall passende Anweisung lässt sich indessen nicht geben, und muss die passende Wahl durch eigene Versuche geleitet werden, für welche man bei derartigen Untersuchungen überhaupt Zeit und Mühe nicht scheuen darf.

Zu etwa erwünschter weiterer, und unter Umständen auch zu vorläufiger Aufklärung, namentlich auch zur Ermittelung, in wie weit die in der lebendigen Zelle sich abspielenden Vorgänge mit den fixirten übereinstimmen, sollen auch gehärtete und gefärbte Objecte herangezogen werden.

1. Freie Zellbildung.

Verbreitung und Arten der freien Zellbildung. — Die freie Zellbildung tritt überall da auf, wo sich die erste Zelle eines entstehenden Organismus entwickelt. Sie gibt allen Zellen ihr Dasein, welche bei der geschlechtlichen (sexuellen, digenen) Fortpflanzung der Kryptogamen und Phanerogamen, sowie bei der ungeschlechtlichen (vegetativen, monogenen) Fortpflanzung der Algen und Pilze thätig sind. Man kann dieselben daher bei der Entstehung sämmtlicher Keimzellen der Kryptogamen und Phanerogamen, der Schwärmsporen der Algen und Pilze, der Schwärmfadenzellen und Sporenzellen der

Digitized by Google

höheren Kryptogamen, der Pollenzellen der Phanerogamen verfolgen. Im Embryosacke der letzteren erscheint sie in bestimmten Familien, wozu die Liliaceen, Irideen, Primulaceen, Violaceen, Resedaceen, Ranunculaceen, Onagrarieen, Compositen, Dipsaceen u. a. gehören, ebenfalls als Grundlage des Endosperms.

Es lassen sich zwei wesentlich verschiedene Abänderungen der freien Zellbildung unterscheiden. Bei der einen entstehen im Innern der Mutterzelle mehrere, entweder unter Verbrauch des gesammten lebendigen Inhaltes sofort in Verband tretende, oder unter Verbrauch der Gesammtheit oder nur eines Theiles des bildungsfähigen Inhaltes der Mutterzelle nicht in Verband tretende, frei in der Mutterzelle liegende Zellen. Bei der anderen wird nur eine, den ganzen Inhalt der Mutterzelle verbrauchende Tochterzelle entwickelt. Die erstere Form kann als Vielzellenbildung, die andere als Vollzellbildung bezeichnet werden.

A) Vielzellenbildung.

a) Zellbildung im Embryosack.

Die erstere Form der Vielzellenbildung tritt nur in dem Embryosacke der Phanerogamen auf und lässt sich daselbst der Vorgang ohne allzu grosse Schwierigkeit verfolgen. Als die geeignetsten Pflanzen zu deren Studium möchten sich die Liliaceen, Resedaceen, Ranunculaceen und manche Rosaceen empfehlen, weil bei ihnen die eben befruchtete Samenknospe schon eine solche Grösse erreicht hat, dass sie sich leicht zur Beobachtung herrichten lässt. Diese unternimmt man zunächst an besonderem, nach dem auf S. 592 beschriebenen Verfahren behandeltem, oder, wo sich die entsprechenden Entwickelungszustände vorfinden, an dem für die Beobachtung der Kerntheilung hergerichteten Material und unter Umständen mit der letzteren zugleich. Zur Nachprüfung dürfte nächstdem und so weit sie ausführbar ist, auch die Beobachtung ungehärteter und ungefärbter Objecte zu empfehlen sein. Hierzu nimmt man am besten eine nicht zu zarte Mittellamelle aus der Samenknospe, so dass der Embryosack nach oben und unten unverletzt bleibt, und sucht für den Fall, dass das Präparat nicht eine vollständig klare Anschauung gewährt, denselben unter dem einfachen Mikroskop von den Knospenintegumenten zu befreien. Als Untersuchungsflüssigkeit darf aber hier nicht das auf die jugendlichen Entwickelungszustände störend einwirkende Wasser, sondern es muss eine der auf S. 696 des ersten Bandes beschriebenen indifferenten Zusatzflüssigkeiten verwendet werden.

Bei Durchmusterung der zur Beobachtung der Kerntheilung oder für unseren besonderen Zweck hergestellten Präparate werden sich immer solche finden, bei denen wir in dem Protoplasma, welches einen mehr oder minder starken Wandbelag des Embryosackes bildet, alle Entwickelungszustände der werdenden Zellen antreffen.

Digitized by Google

Der Zellbildungsvorgang in dem Embryosack verläuft folgendermaassen. Während bei denjenigen Zellkernen, um die eine Zellbildung nicht stattfinden, sondern ohne solche eine erneute Theilung eintreten wird, sich die sogenannte Zellplatte bis über die Ausbildung der Kern-

Fig. 418.

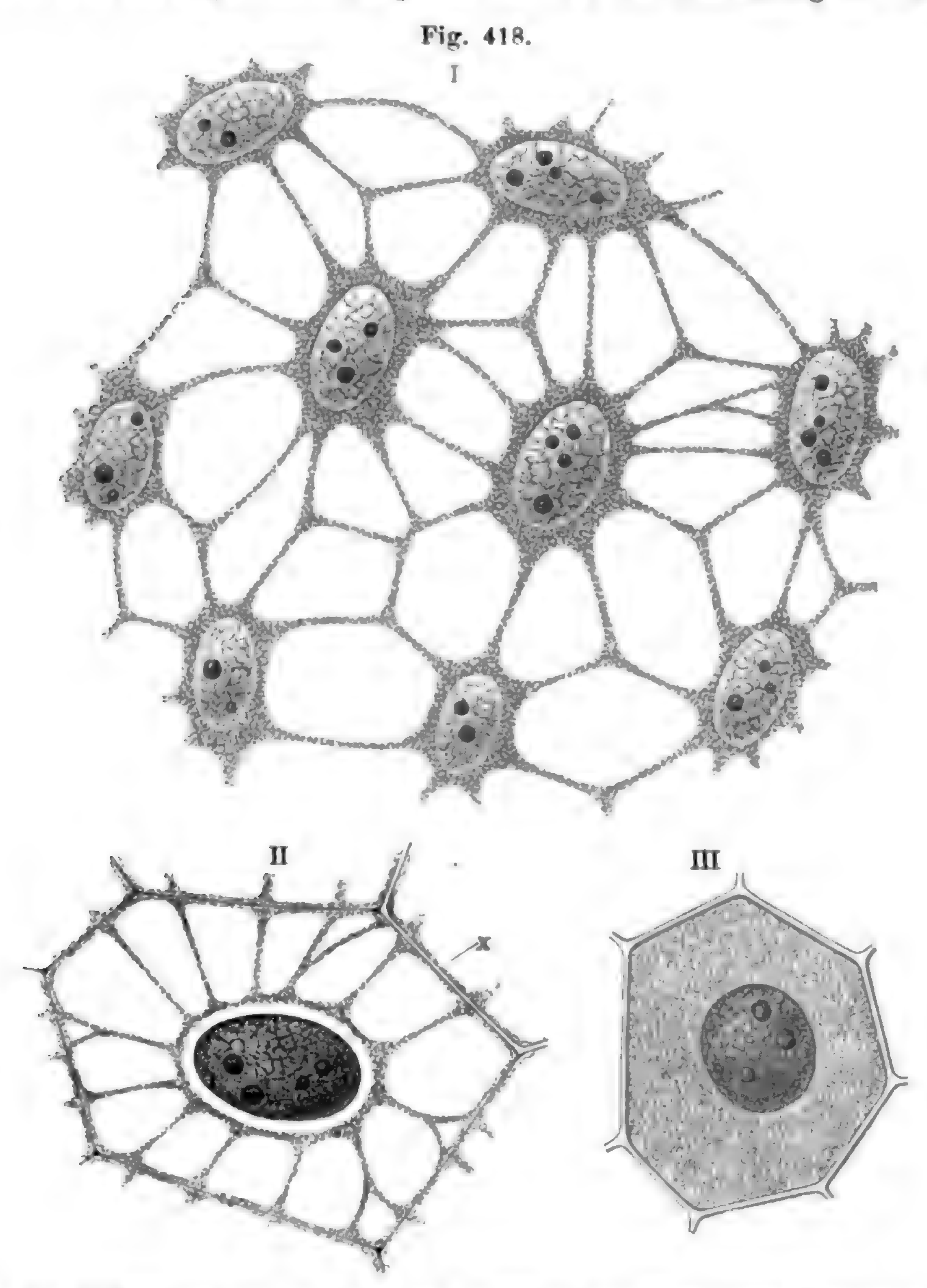


Fig. 418. I Stück aus dem gehärteten und gefärbten, protoplasmatischen Wandbelage des Embryosackes von Fritillaria imperialis. II Eine einzelne Zelle mit den angrenzenden Theilen ihrer Nachbarzellen. III Eine fertige Zelle. Vergr. 1 : 600.

wandung hinaus erhält, verschwindet dieselbe zwischen den an der Zellbildung betheiligten Kernen schon während dieser und letztere werden bei Alkohol-Safraninpräparaten von einer blass gefärbten, fast homogenen Protoplasmaschicht umgeben, von der aus nach allen Rich-

Digitized by Google

tungen hin Fäden (Plastinlamellen, Crato) ausstrahlen (Fig. 418, I, a. v. S.) *). Nachdem sich die Kernwand und die Kernkörperchen herangebildet haben, zieht sich die Protoplasmahülle von dem Kerne etwas hinweg, so dass derselbe von einer helleren, nach aussen von einer dichten, die Fäden (Plastinlamellen) aussendenden Protoplasmamasse begrenzten Zone umgeben erscheint. Die Protoplasmabänder, welche von den verschiedenen Kernen ausstrahlen, stehen vorerst noch wie vorher mit einander in Verbindung, indem sie sich — und zwar sowohl da wo sie sich von einem Kerne zu dem anderen hinüberziehen, als auch da, wo dies nicht der Fall ist — in ihren Endpunkten berühren. Weiter fortgeschrittene Zustände zeigen die als einfache Linie erscheinende Anlage der sich sammt den sich an sie anschmiegenden Körnchen roth färbenden Zellhaut (Hautschicht), welche jetzt die Strahlensysteme der einzelnen Kerne von einander trennt (Fig. 418, II) und die Einzelwesenheit der lebendigen Zellleiber bedingt. Auf dieser Entwickelungsstufe sieht man in Folge des von dem Deckglase ausgeübten Druckes öfter die werdenden Tochterzellen ganz oder streckenweise, und zwar einfach umgrenzt, von einander getrennt (Fig. 418, II bei *x*) und liegt darin der Beweis, dass jede derselben eine, ihre ganze Oberfläche einnehmende, mit der Mutterzellhaut nicht in Verbindung stehende eigene Zellhaut (Hautschicht) besitzt. Ob bei deren Bildung das von der Umgebung des Kernes ausstrahlende active Protoplasma unmittelbar in die Zellhaut übergeht (Harper, S. 614), oder ob dieselben — was ich eher annehmen möchte — nur die Zufuhrwege für die Baustoffe zur Neubildung bilden, lässt sich vorläufig noch nicht unterscheiden. Spätere Entwickelungszustände lassen zwischen den beiden blassroth gefärbten Zellhäuten einen glashellen, doppelt begrenzten Streifen und darin die Ausgestaltung der Zellwände erkennen (Fig. 418, III). Damit ist die Entwickelung der ersten jugendlichen, an der Wand des Embryosackes anliegenden Zellen des Sameneiweisses, deren Kerne nun eine kurz elliptische bis kugelige Gestalt angenommen haben, vollendet. In gleicher Weise schreitet die Zellbildung in bestimmter Richtung fort. Dann vergrössern die Belegzellen ihren Durchmesser nach dem Innern des Embryosackes hin, um sich nach Erreichung einer bestimmten Höhe durch Zelltheilung zu vermehren und es setzt sich diese so lange fort, bis der ganze Embryosack mit Gewebe erfüllt ist.

b) Entstehung der Schwärmsporen von Pilzen und Algen.

Als mehrere freie Tochterzellen, welche den Gesammtinhalt der Mutterzelle zu ihrer Entwickelung verbrauchen, entstehen die Schwärmsporen mancher Algen (Ulothrix, Cladophora, Bryopsis, Hydrodyctyon) und Pilze (Peronospora, Saprolegnia).

Bei der Schwärmsporenbildung, welche jedoch ohne hinreichende, auf der Entwickelungsgeschichte fussende Gründe, zu der Zellbildung durch

*) An einzelnen Stellen sieht man noch Reste der Verbindungsfasern.

Digitized by Google

Theilung (ohne Scheidewandbildung!) gezählt wird, entstehen aus dem Gesammtinhalte der Mutterzelle sofort in ihrer vollen Grösse auftretende Tochterzellen in bestimmter (2 bis 16) oder unbestimmter Anzahl.

Verfolgen wir die Entwickelung der Schwärmsporen von Ulothrix zonata, so besteht die erste sichtbare Einleitung zu dem Zellenbildungsprocesse in einer Veränderung des Protoplasmas, der tonnenförmig angeschwollenen Fadenzellen, welches eine mehr gleichartige feinkörnige Beschaffenheit annimmt (Fig. 419 bei a). Dann zieht sich das Chlorophyllband nach den Seitenwänden hin und es verschwindet — wie durch Anwendung wasserentziehender Mittel nachgewiesen werden kann — die Mutterzellhaut, welche früher eine scharfe Umgrenzung bildete (Fig. 419 bei b). Ein zweites Stadium lässt dann eben so viele aus auf einander folgenden, hier in ihrem Verlaufe nicht zu verfolgenden Theilungen

Fig. 419.

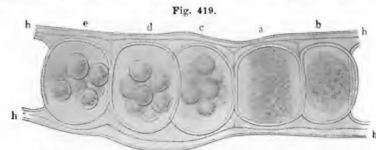


Fig. 419. a bis f Entstehung der Schwärmsporen von Ulothrix zonata, h die in Quellung und Auflösung begriffenen Mutterzellwände der vorhergehenden Generationen. Vergr. 1 : 670.

hervorgegangene kleine Zellenkerne erkennen (Fig. 419 bei b), als Tochterzellen entstehen sollen, deren Anzahl sich nur in einzelnen Fällen — und dann meist in demselben Faden — auf 2 bis 4 beschränkt. Um die Tochterkerne entstehen alsbald im letzten Stadium die Zellen durch Bildung ihrer Haut und liegen dann frei oder bei grösserer Anzahl von der schon von Schacht erkannten „Blase“ umgeben in der den Zellsaft noch enthaltenden Mutterzelle (Fig. 419 bei c bis e).

Die aus den Wänden der verschiedenen Mutterzellgenerationen gebildete Scheide (Fig. 419 bei h h), wie die Querwände der letzteren, quellen während der geschilderten Vorgänge auf und gehen schliesslich in Lösung, so dass die Sporenmutterzellen frei werden und durch Aufreissen die Sporen entlassen.

c) Entstehung der Ascosporen der Pilze.

Bei der Entstehung der Ascosporen, bei der der lebendige Inhalt der Mutterzelle nicht ganz verbraucht wird, gehen zunächst durch auf einander folgende Theilungen des Mutterzellkernes so viele Tochterkerne hervor, als die normale Anzahl der Sporen beträgt. Um diese Kerne bildet sich in der Regel eine Zellhaut (Hautschicht) und schneidet so je einen Theil des Protoplasmas der Mutterzelle ab. In einzelnen

Digitized by Google

Fällen kann auch die Hautbildung um einzelne Kerne unterbleiben und es werden diese dann später aufgelöst. Die einzelnen jungen Sporen liegen dann ohne sich zu berühren frei in der Mutterzelle und es wird um dieselben früher oder später die Sporenwand abgeschieden. Der Vorgang der Hautbildung ist in neuester Zeit durch Harper für

Fig. 420.

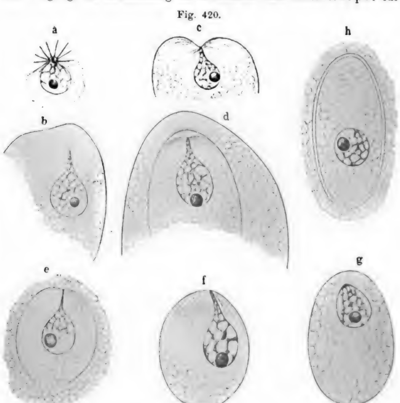


Fig. 420. Erysiphe communis. a Fertiger Tochterkern der dritten Generation, b Anfang der Sporenbildung, Entwickelung des Schnabelfortsatzes, c schirmartiger Zustand während der Umgestaltung der Polstrahlung in die Umwandlung der Sporengrenzschicht, d weiterer Zustand während der Sporenabgrenzung, Grenzschicht in der Nähe der Centrosphäre von der Ascuswand zurückgezogen, e Grenzschicht fast vollkommen ausgebildet, f Sporengrenzschicht fertig, Schnabel und Strahlen noch vorhanden, g Kernschnabel zurückgezogen, Centrosphäre sattelförmig, h fast reife Sporen mit ausgebildeter Sporenwand. Vergr. 1 : 1500 (nach Harper)

Erysiphe communis, welche als Beobachtungsobject überhaupt zu empfehlen sein dürfte, sowie für Peziza Stevensoniana und Ascobolus furfuraceus an Mikrotomschnitten festgestellt worden und möge dessen Schilderung hier in Kürze wiedergegeben werden. Der zur Sporenbildung sich anschickende, die von der Centrosphäre ausgehende Polstrahlung zeigende Kern (Fig. 420 a) wächst an der Polseite allmälig zu einem schliesslich schnabelförmigen Röhrchen aus, in welchem sich bis

Digitized by Google

zur Centrosphäre ein Faden des Chromatingerüstes hinzieht. Sobald der Schnabel seine endliche Länge erreicht hat, biegen sich die Strahlenradien nach dem Kerne hin um (Fig. 420 b), so dass nun ein Hohlkegel entsteht, dessen Ansatzpunkt die Centrosphäre bildet. Die sich bewegenden Radien verschmelzen dann mit den nächst benachbarten, während zugleich eine Krümmung nach dem Kerne hin stattfindet und sich eine schirmartige Figur mit vertiefter Mitte heranbildet (Fig. 420 c).

Nachdem die mittelpunktständigen Strahlen sich um etwa 90° gedreht haben, bilden die verschmolzenen Radien der umgestalteten Polstrahlung eine Art halben Ellipsoides, dessen Mitte der Kern einnimmt und dessen einen Pol die Centrosphäre bildet (Fig. 420 d). Indem die an ihrem Ende noch getrennten Strahlen in der Richtung des Umfanges des Ellipsoids langsam fortwachsen, sich an einem der Centrosphäre gegenüberliegenden Punkte vereinigen und sowohl mit ihren Enden, als seitlich verschmelzen, wird eine fast genau elliptische, von einfach begrenzter Haut umschlossene Spore abgegrenzt, deren einer Pol die Centrosphäre bildet, während der Kern etwa in ihrem Brennpunkte liegt (Fig. 420 e u. f). Während dieses Vorganges wird der Schnabel des Kernes allmälig eingezogen (Fig. 420 g) und dieser nimmt wieder seine ursprüngliche, kugelige Gestalt an. Die Sporenwand wird über der Zellhaut erst dann abgeschieden, wenn der Kern in den vollständigen Ruhezustand übergetreten ist (Fig. 420 h).

B. Vollzellbildung.

Bei der Vollzellbildung, welche ich nach meinen auch nach dem Erscheinen der ersten Auflage und neuerdings an frischem Materiale vorgenommenen Untersuchungen in dem vollen im Nachstehenden umgrenzten Umfange festzuhalten mich für berechtigt halte, entsteht in je einer Mutterzelle nur eine einzige Tochterzelle, welche den gesammten Inhalt derselben verbraucht. Ob dabei — auch bei unseren heutigen optischen Hülfsmitteln uns verborgen bleibende — moleculare Umlagerungen einzelner Gebilde des lebendigen Zellleibes stattfinden, kommt zunächst nicht in Betracht. Als eine „neue“ Zelle ist unter allen Umständen eine solche zu betrachten, welche in Folge der Neubildung eine neue Lebensverrichtung zu vollziehen hat.

Vollzellbildung findet statt bei der Bildung der sich erst nach der Befruchtung mit einer Zellwand umgebenden Ei- oder Keimzellen mancher Algen, z. B. der Oedogonien, Bulbochaeten, Vaucherien u. s. w., der Moose und höheren Kryptogamen in der Centralzelle des Bauchtheiles der Archegonien, der Schwärmsporen mancher Algen (Oedogonium, Bulbochaete, Vaucheria), der Androsporen und der Schwärmfadenzellchen, endlich bei der Entstehung der Vierlingssporen in den sporenbildenden Zellen der Moose, Farne, Equiseten und der Pollenkörner in den pollenbildenden Zellen der Phanerogamen.

Digitized by Google

Entstehung der Keimzelle der Moose u. s. w. Bei der Entstehung der Keimzelle der Moose und Farnkräuter ist man im Stande, die einzelnen Entwickelungsstufen möglichst vollständig zu verfolgen. Im Allgemeinen dürften sich unter diesen Pflanzen wiederum die Lebermoose am meisten empfehlen, weil der Bauchtheil des Archegoniums nur von einer einzigen Zellenlage gebildet wird, so dass man nicht selten ohne alle weitere Präparation, als einen geeigneten Schnitt durch den Fruchtstand schon ganz passende Präparate erhält.

Als Beispiel der Entwickelungsgeschichte wähle ich die überall anzutreffende Marchantia. Dieselbe blüht vom Mai an während der folgenden Monate Juni und Juli, und es sind die blühenden Exemplare leicht an ihren deutlich hervortretenden pilzartigen Fruchtköpfchen und Antheridienscheibchen zu erkennen.

Nimmt man aus dem jungen, eben sich über das Laub erhebenden gestrahlten Fruchtknopf des genannten Lebermooses eine nicht zu

Fig. 421.

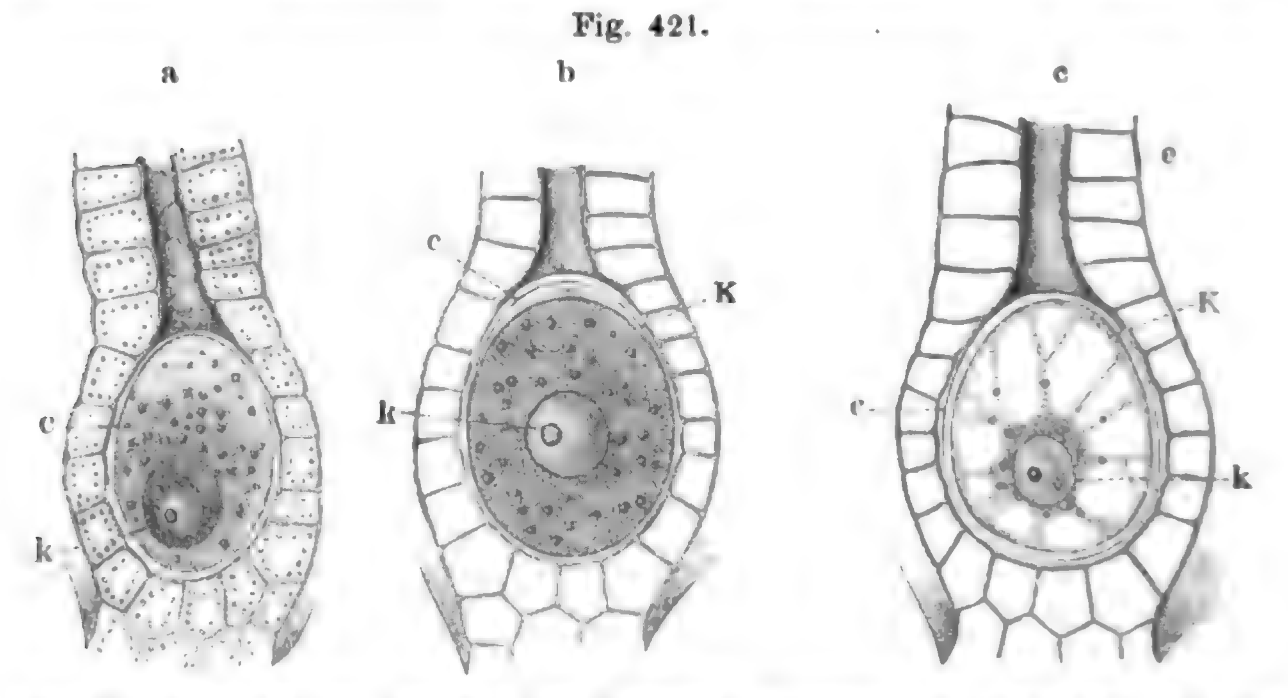


Fig. 421. Entstehung der Keimzelle von Marchantia polymorpha. a Archegonium mit der Centralzelle, b Keimzelle von der am oberen Ende von der Wand der Centralzelle zurückgezogenen Zellhaut umkleidet, c Keimzelle nach der Befruchtung von der neu gebildeten Zellwand umgeben. *C* Centralzelle, *K* Keimzelle, *k* Zellkern. Vergr. 1 : 740.

dünne Mittellamelle, so trifft man in derselben in der Regel eine Reihe verschiedener Entwickelungszustände der Archegonien, von denen im glücklichen Falle einzelne derart von dem Schnitte getroffen wurden, dass die Centralzelle des Bauchtheiles blossgelegt erscheint und einen guten Einblick in die Entwickelung der Keimzelle gestattet. In dem am Bauchtheile etwas angeschwollenen Archegonium findet man innerhalb der Centralzelle bald einen kleineren, bald einen grösseren Zellkern (Fig. 421 a). Ob der letztere aus dem kleineren herausgewachsen ist oder sich nach dem Untergange des älteren, kleineren frei gebildet hat, oder ob er einer Kerntheilung mit Auflösung des Schwesterkernes seine Entstehung verdankt, muss ich, da mir zur Zeit entsprechende

Digitized by Google

Beobachtungen nicht zu Gebote stehen, späterer Untersuchung vorbehalten. Der erste Anfang der Tochterzellenbildung bekundet sich durch ein Zurückweichen des nun nicht mehr scharf begrenzten lebendigen Zellleibes von der Mutterzellwand und durch eine stärkere, in der Nähe des Kernes stattfindende Ansammlung des Protoplasmas, die nach allen Seiten hin schwer erkennbare Protoplasmafäden aussendet. Sobald diese Fäden bis zum Umfange gelangt sind, schliesst sich die durch die nun im optischen Durchschnitt als scharfe Linie auftretende Zellhaut ab (Fig. 421 b). Bleibt das Archegonium unbefruchtet, so wird die Keimzelle in der Art verändert, dass sich ihr Inhalt nach und nach braun färbt und die Zellhaut verschwindet, wonach in der Centralstelle nur ein mehr oder minder kugeliger Klumpen einer braunkörnigen Masse zurückbleibt. Tritt dagegen Befruchtung ein, was man schon an der nach Aufquellen erfolgenden Resorption des nach dem Halstheile des Archegoniums gewendeten Theiles der Mutterzellwand erkennt, so umkleidet sich die Keimzelle, während in deren Inhalt die Bildung grösserer Vaccuolen und die Entstehung breiterer, zwischen dem Kerne und dem protoplasmatischen Wandbelage verlaufender Binnenströmchen stattfindet, mit einer doppelt umschriebenen Zellwand (Fig. 421 c).

Entstehung der Pollenkörner und Vierlingssporen. Die Entstehung der Pollenkörner und der Vierlingssporen der Lebermoose, Laubmoose, Schachtelhalme und Farne erfolgt in ähnlicher Weise, wie diejenige der Keimzellen der Moose u. s. w., d. h. um den gesammten Inhalt der durch Viertheilung entstandenen „Specialmutterzellen“. Wie sich der Zellkern dabei verhält, ob der Mutterzellkern verbleibt, oder ob derselbe eine Neu- beziehentlich Umbildung erleidet, ist vorerst nicht sicher festzustellen.

Der erste Anfang der Zellbildung ist darin zu erblicken, dass der vorher an der Mutterzellwand anliegende lebendige Zellleib sich im ganzen Umfange etwas von derselben zurückgezogen und daraufhin — wie sich auch durch Behandlung mit wasserentziehenden Mitteln zeigt — seine scharfe einfache Umgrenzung und damit einen Bestandtheil des aus der Theilung hervorgegangenen lebendigen Zellleibes verloren hat. Auf einem späteren Entwickelungszustande tritt letztere wieder hervor (Fig. 422, I a a. f. S.). Es lässt sich nun aus diesen Vorgängen schliessen, dass nach Auflösung der Mutterzellhaut beziehentlich nach Einbeziehung derselben in das Protoplasma eine neue Zellhaut aus letzterem herangebildet worden, also aus dem gesammten Inhalt jeder pollenbildenden Zelle ein neuer lebendiger Zellleib: der lebendige Zellleib des werdenden Pollenkernes entstanden ist. Auf dieser Entwickelungsstufe treten die jungen Zellleiber dann auch in Folge von Druck u. s. w. aus der gesprengten Mutterzelle hervor und erscheinen von einer einfach aber scharf begrenzten Haut umgeben (Fig. 422, I b), welche sich auf Anwendung von Zuckerwasser, Jod und dergleichen zusammenzieht.

Digitized by Google

Ueber der neu gebildeten Zellhaut wird dann die Zellwand der mit neuen Lebensthätigkeiten betrauten Tochterzelle, d. h. der jungen Pollenkörner abgeschieden und macht sich zunächst durch eine etwas

Fig. 422.

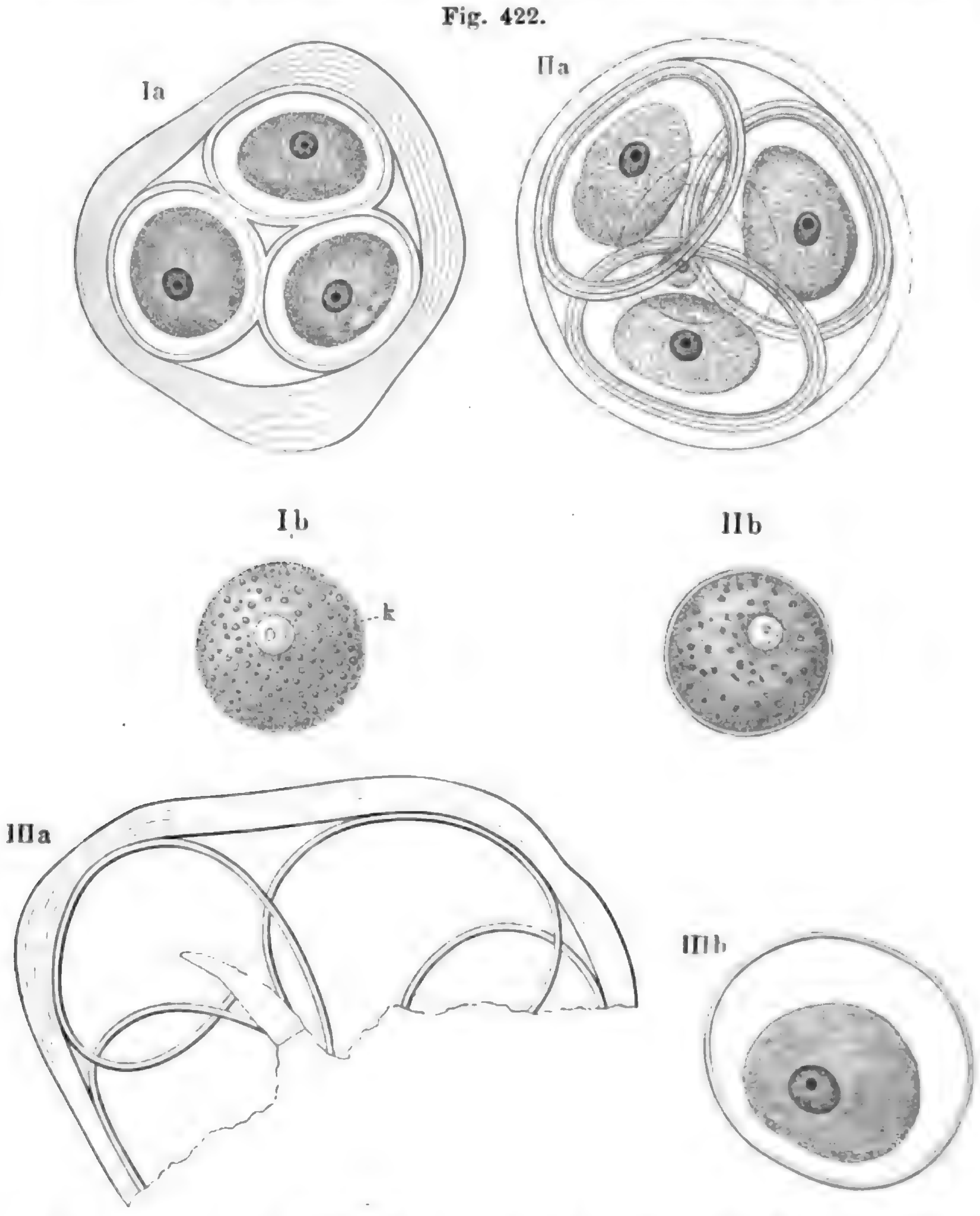


Fig. 422. Cucurbita pepo. Entstehung der Pollenkörner innerhalb der pollenbildenden Zellen („Specialmutterzellen"). Ia Die jungen, von der Zellhaut umkleideten Pollenzellen innerhalb der letzteren, b eine freie junge Pollenzelle dieser Entwickelungsstufe, IIa die jungen Pollenzellen haben die Zellwand gebildet, die lebendigen Zellleiber durch Wasserentziehung geschrumpft, b intakte Pollenzelle dieser Stufe, IIIa Theil einer gesprengten und entleerten Tetrade, b eine frei gewordene Pollenzelle mit nach Wasserentziehung geschrumpftem lebendigen Zellleib. Vergr. 1 : 800.

von der Zellwand ihrer Mutterzellen entfernte, schmale, doppelte Begrenzung kenntlich. Diese tritt namentlich an solchen Objecten deut-

Digitized by Google

lich hervor, bei denen der lebendige Zellleib nach Anwendung wasserentziehender Mittel zusammengefallen ist (Fig. 422, IIa). Werden die pollenbildenden Zellen durch Druck gesprengt und die jungen Pollenkörner aus denselben herausgepresst, so ist diese innere doppelt umgrenzte Wand nicht mehr innerhalb derselben wahrnehmbar (Fig. 422, IIIa), was die Deutung der jungen Wand als Beugungserscheinung ausschliesst. Die ausgetretenen jungen Pollenkörner erscheinen jetzt von einer doppelten Grenzschicht umgeben (Fig. 422, IIa und IIIa). Dass hier freie Zellbildung und zwar Vollzellbildung stattfindet und die Wand der jungen Pollenkörner nicht als eine innerste Verdickungsschicht der pollenbildenden Zellen („Specialmutterzellen“) aufzufassen ist, geht aufs Klarste daraus hervor, dass eben die junge Wand der Pollenkörner mit der Wand jener nicht in unmittelbarer Verbindung steht, sondern durch einen merklichen Raum von ihr getrennt ist und beim Heraustreten der Tochterzellen aus der Mutterzelle als freies Wandgebilde in die Erscheinung tritt.

Ob und welche Umbildungen und Umlagerungen ausser der beobachtbaren Erst- und Neubildung der Zellhaut in den übrigen Bestandtheilen des lebendigen Zellleibes der „Specialmutterzellen“ vor der Neubildung stattfinden, ist wohl kaum festzustellen.

In gleicher Weise, geht die Entstehung der Vierlingssporen der höheren Kryptogamen in den Specialmutterzellen, d. h. in den sporenbildenden Zellen vor sich.

Schleiden: Beiträge zur Phytogenesis. Müller's Archiv. 1838 und Beiträge zur Botanik.

Nägeli: Zellenbildung und Zellenwachsthum bei den Pflanzen. 4. Freie Zellenbildung. Schleiden's und Nägeli's Zeitschrift. Heft 3 und 4. 1846.

Hofmeister: Die Entstehung des Embryo der Phanerogamen. Leipzig 1849.

Schacht: Die Entstehung des Pflanzenembryo. Amsterdam 1850.

Alex Braun: Betrachtungen über die Erscheinung der Verjüngung in der Natur. Leipzig 1851.

Hofmeister: Vergleichende Untersuchungen der Keimung u. s. w. der höheren Kryptogamen. Leipzig 1851.

Schacht: Die Pflanzenzelle. Berlin 1852.

Hofmeister: Beiträge zur Kenntnis der Gefässkryptogamen. Abhandl. d. Königl. Sächsischen Gesellschaft 1852 und 1857.

Pringsheim: Untersuchungen über Bau und Bildung der Pflanzenzelle. Berlin 1854.

Schacht: Lehrbuch der Anatomie und Physiologie. Berlin 1855 u. 1859.

Hofmeister: Neue Beiträge zur Kenntniss der Embryobildung der Phanerogamen. Abhandl. d. Kgl. Sächs. Ges. 1859 und 1861.

Pringsheim: Zur Morphologie der Salvinia natans. Jahrbücher. Bd. III, Heft 3. 1863.

Schacht: Die Blüthe und Befruchtung von Santalum album. Pringsh. Jahrb. Bd. IV, Heft 1. 1864.

J. Hanstein: Die Befruchtung und Entwickelung der Gattung Marsilea. Pringsh. Jahrb. Bd. IV, Heft 2. 1865.

Digitized by Google

De Bary: Morphologie und Physiologie der Pilze u. s. w. in Hofmeister's Handbuch der physiologischen Botanik. Bd. 2, Abtheil. I. 1866.

Ferner: Die betreffende Literatur S. 603.

2. Zelltheilung.

Die Zellbildung durch Theilung, zu deren Beobachtung für die feineren Einzelheiten, namentlich auch über das Verhältniss der Tochterzellwände zu den Mutterzellwänden ziemlich starke Vergrösserungen und zwar zur Gewinnung scharfer Begrenzungen bei möglichst enger noch hinreichendes Licht gewährender Blendung zu verwenden sind, bietet ebenfalls zwei Grundformen dar. Bei der einen entstehen in der Mutterzelle zugleich je zwei, bei der anderen je vier Tochterzellen.

Die Zweitheilung tritt am leichtesten beobachtbar bei der Zellbildung der Fadenalgen und den in der Regel paarweise entstehenden Pollenmutterzellen der Monokotyledonen auf, während die Entstehung von vier Tochterzellen bei der Bildung der Sporenmutterzellen der Kryptogamen und der Pollenmutterzellen der Dikotyledonen gut zu verfolgen ist.

A. Zweitheilung.

Zelltheilung von Ulothrix. Eines der geeignetsten Objecte für das Studium der Zweitheilung bildet Ulothrix zonata. Untersucht man dieselbe sofort nach der Entnahme von ihrem Standorte in feuchter Kammer und in dem Wasser in dem sie erwachsen ist, so darf man versichert sein, dass keine Veränderung in dem Lebensprocesse eingetreten ist und dass die Theilungsvorgänge, welche sich den ganzen Tag über abspielten, ihren natürlichen Verlauf nehmen *).

Der Faden der Ulothrix zonata besteht bekanntlich aus cylindrischen, im Mittel 0,027 mm langen, 0,028 bis 0,038 mm breiten Dauerzellen, welche in den Ecken bisweilen eine stärkere, mit einer geringen Einstülpung verbundene Verdickung zeigen (Fig. 423, *v*, *v*) und von mehreren Generationen der Mutterzellwände umschlossen werden. Die Verbindung der einzelnen Zellen und Zellengruppen unter einander ist eine nur lose, im jüngeren Zustande nur durch die adhäsive Beschaffenheit der jungen Wände bedingte. Es ist keine Intercellularsubstanz vorhanden und das Zerfallen des älteren Fadens in seine einzelnen Bestandtheile wird nur durch die zur Scheide gewordenen Mutterzellwände verschiedener Zellgenerationen verhindert. Eine Lösung der einzelnen Glieder aus ihrem Verbande gelingt nur,

*) Das Material zu meinen eigenen Untersuchungen wurde seinerzeit sammt dem Mutterboden (Steingeröll) auf dem es erwachsen war, einem an meiner Wohnung vorbeifliessenden Bache entnommen und in dem mitgeschöpften Wasser sofort beobachtet.

Digitized by Google

wenn man mittelst der Nadel die Scheide geöffnet hat, oder wenn dieselbe im Verlaufe der Zeit aufgelöst wird.

Der Zellinhalt zeigt folgende Anordnung. Um die centrale Zellflüssigkeit findet sich, der Zellhaut angelagert, eine ziemlich starke Schicht, fast hyalinen, nur wenig körnigen Protoplasmas. Diese, nach den Enden der Zellen hin sehr häufig farblos, ist in den mittleren Partien grün gefärbt und stellt somit ein Chlorophyllband dar, in dem sich vereinzelte grosse Chlorophyllkörner eingelagert finden, welche Stärke einschliessen.

Der linsenförmige Zellkern ist wandständig im Protoplasma eingebettet und erscheint mit seiner flachen Seite der Zellhaut angelagert. Je nach der Lage des Fadens erblickt man ihn bald in der Mitte der dem Beobachter zugewendeten Seite der Zellen, bald mehr nach der oberen oder unteren Kante des Fadens gerückt, bald an der im optischen Durchschnitt sich darstellenden Seitenwand, wo er dann nicht immer gut in dem Inhalte zu unterscheiden ist. Seine Grösse scheint in

Fig. 423.

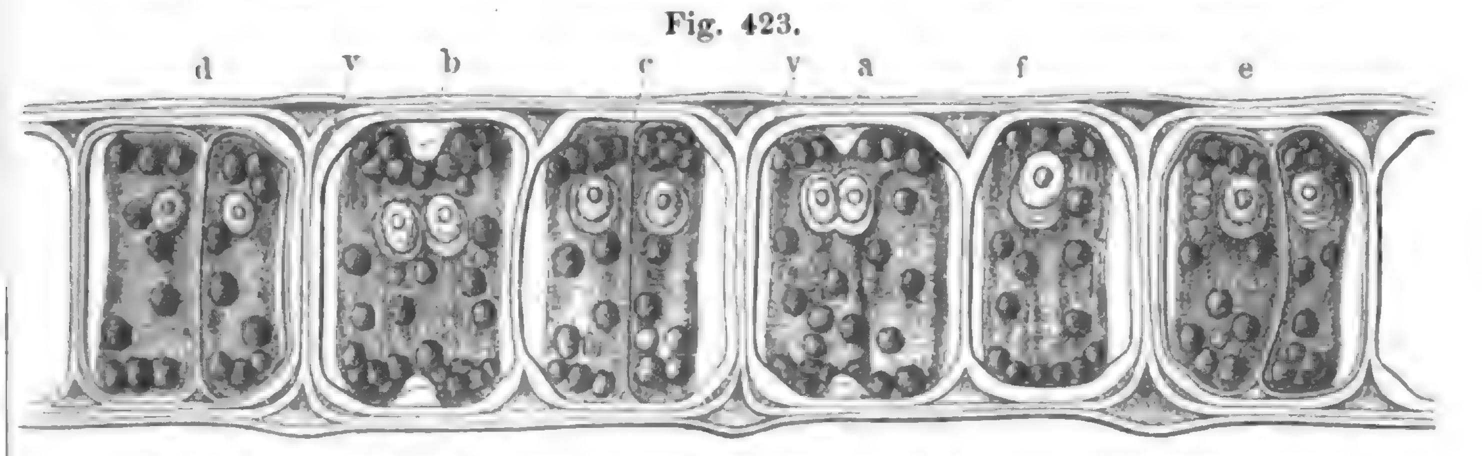


Fig. 423. Zelltheilung von Ulothrix zonata. Theil eines frisch dem Mutterboden entnommenen und in dem Wasser, in dem er erwachsen, beobachteten Fadens mit verschiedenen Theilungszuständen a bis e, f eine ausgewachsene, zur neuen Theilung fähige Zelle, v, v die leeren Räume an den bisweilen verdickten Ecken der früheren Zellgenerationen. Vergr. 1 : 750.

gewissen Grenzen zu schwanken, denn ich fand ihn bald etwas grösser, bald kleiner. Die relativ grösste Ausdehnung besitzt derselbe bei zur vollen Grösse erwachsenen und zur Theilung fähigen Zellen. Relativ kleiner erscheint derselbe bei eben getheilten Zellen und nimmt sein Umfang mit der Ausbildung der Tochterzellen noch etwas zu. In der Zeit kurz vor der Zelltheilung und während der ersten Stadien derselben erscheint er, soweit sich das entscheiden lässt, von einer farblosen hyalinen Protoplasmaanhäufung umgeben, wodurch er, wenn man nicht ganz genau zusieht, eine bedeutendere Grösse zu haben scheint, als dies in der That der Fall ist (Fig. 423 a bis f).

Die Einleitung zur Theilung beginnt etwa gleichzeitig im Zellkerne und der Zellhaut (Hautschicht, Primordialschlauch). Beobachtet man einen unverletzten Faden, an dessen Zellen sich hier und da einzelne, schon weiter fortgeschrittene Theilungszustände erkennen lassen, so wird man auch bald die jüngsten Theilungszustände auffinden

Digitized by Google

können. Bei diesen erscheint in der Regel die Zellhaut etwa in der Mitte der Mutterzelle am oberen und unteren Rande ein wenig eingezogen, so dass im ganzen Umfange eine schwache ringförmige Einschnürung des Zellinhaltes entsteht. Unter der Zellhautfalte lässt sich eine Ansammlung von farblosem hyalinen Protoplasma beobachten, die namentlich dann sehr deutlich hervortritt, wenn man auf den optischen Querschnitt einstellt (Fig. 423 bei a u. b). Zugleich mit dieser Einfaltung der Zellhaut und der dadurch hervorgerufenen passiven Einschnürung des Inhaltes, während der die Zellwand der Mutterzelle nicht die mindeste Veränderung zeigt, wird auch die Theilung des Mutterzellkernes, deren Einzelheiten ich bei meinen früheren Untersuchungen nicht näher verfolgte und bisher aus Mangel an geeignetem Material auch nicht verfolgen konnte, sich auch jedenfalls nur an in Alkohol entfärbtem und dann gehärtetem und darauf gefärbtem Materiale beobachten lassen, sichtbar, welche rasch bis zum weiteren Auseinandertreten der Tochterkerne fortschreitet.

Wendet man auf solche jüngste Entwickelungszustände wasserentziehende Reagentien an, so zieht sich der in Theilung begriffene Zellleib von der im ganzen Umfange scharf begrenzten und glatt verlaufenden, durchaus keine Hervorragung oder Einfaltung zeigenden Zellwand zurück, während die Ringfalte meist vollkommen deutlich ausgeprägt bleibt (Fig. 424 I und II). Nur bei zu heftiger und rascher Einwirkung nicht hinreichend verdünnten Reagenses tritt eine so starke Schrumpfung des Zellleibes ein, dass dieses Verhältniss mehr oder weniger undeutlich, oder ganz unkenntlich wird.

Diese ersten Theilungszustände sind indessen nicht immer in der eben geschilderten Weise ausgeprägt. Hier und da (bei einzelnen Fäden in allen Zellen) legen sich die beiden Theile des eingeschnürten Hautstückes so fest an einander, dass kein bemerkbarer Intercellularraum entsteht. Die Ringfalte erscheint dann wie eine zarte, sich quer über das Zellenlumen erstreckende Linie. Die Anwendung von wasserentziehenden Reagentien lässt dann aber die Verhältnisse meist etwas klarer hervortreten, indem sich das gefärbte Protoplasma an der Theilungsstelle weiter zurückzieht und die Falte etwas aus einander weicht.

Die weitere Entwickelung macht sich durch Vertiefung der Einfaltung geltend, mit der ein Auseinanderweichen der beiden Tochterzellkerne Hand in Hand geht (Fig. 423 bei b). Bis hierher wird eine Abscheidung von Zellstoff über der Zellhaut noch nicht bemerkbar. Erst wenn die Ringfalte, die noch immer von der Ansammlung farblosen Protoplasmas begleitet wird, etwa $^1/_{12}$ bis $^1/_{10}$ des Querdurchmessers erreicht hat, beobachtet man die erste Anlage der neu entstehenden Zellwand, welche, obgleich sie, wo sie quer über das Lumen der Zelle verläuft, oder wo sie mit der glatt darüber verlaufenden Zellwand der Mutterzelle einen grösseren oder kleineren Intercellularraum bildet,

Digitized by Google

schon als doppelt contourirt erkannt wird, doch noch so zart ist, dass man sie im Umkreise der Mutterzelle, wo sie dieser fest anliegt, nicht von dieser gesondert wahrnehmen kann.

Die Theilung schreitet jetzt bei freudig vegetirenden, frisch ihrem Standorte entnommenen und in dem mit ihnen geschöpften Wasser untersuchten Pflänzchen sehr rasch vorwärts. Die Ringfalte der Zellhaut wird tiefer, die Kerne treten noch etwas mehr aus einander und die noch unfertige Zellwand wird jetzt unter günstigen Umständen, d. h. wenn sie nicht zu fest an der Mutterzellwand anliegt, auch in dem Umkreise der letzteren deutlich erkennbar (Fig. 423 d und e, Fig. 424, I c, II b bis d).

Das tiefere Eindringen der Ringfalte macht sich indessen nicht fortschreitend in der anfänglich beobachteten Weise bemerkbar, indem

Fig. 424.

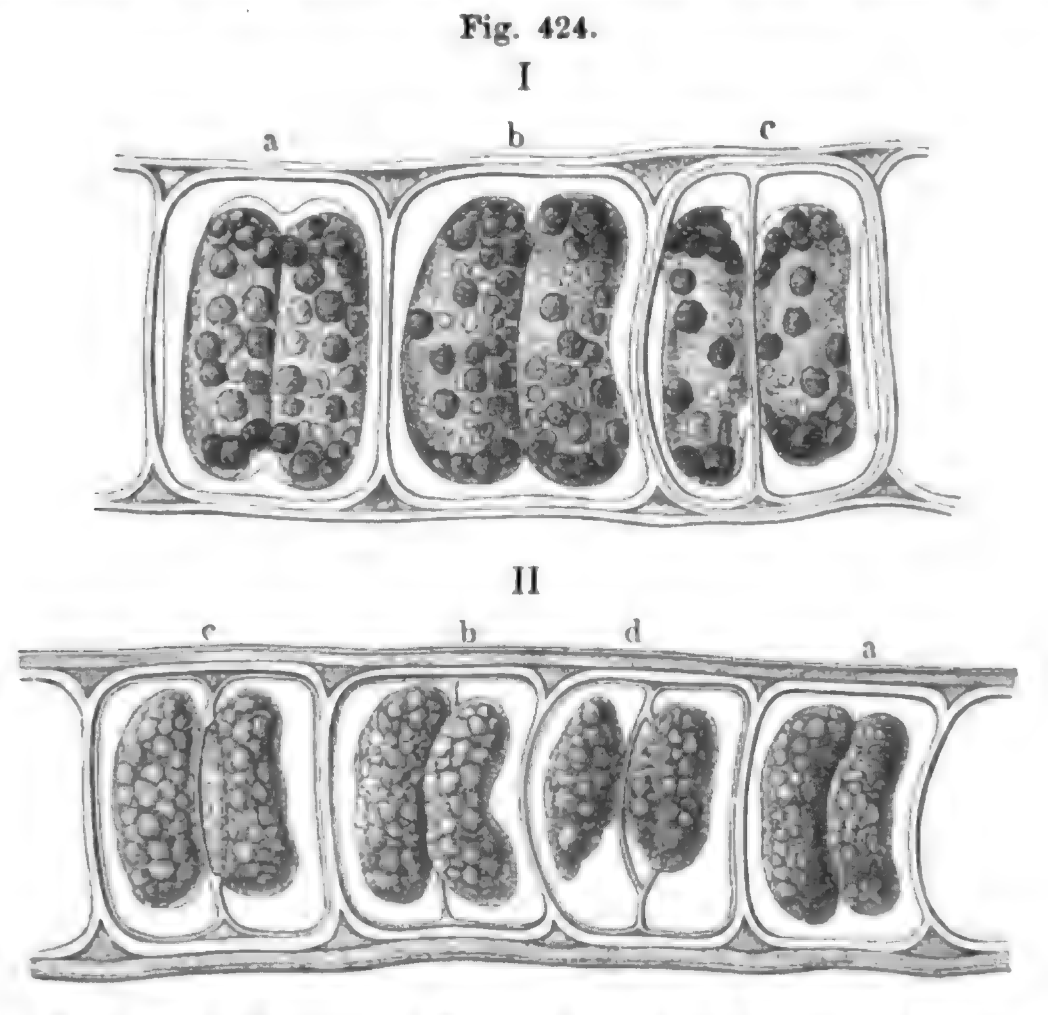


Fig. 424. I Theil eines in Zelltheilung begriffenen Fadens mit Zuckerlösung behandelt, a bis c aufeinanderfolgende Theilungszustände, II desgleichen aus einem in Chlorcalcium aufbewahrten Präparate, a bis d wie vorher. Vergr. 1 : 680.

etwa der Intercellularraum sich erweiterte. Dieser behält vielmehr, indem sich die Zellhaut der neu entstehenden Zellwand innig anschmiegt, den Umfang bei, wie ihn die Einfaltung des ersten oder zweiten Entwickelungsstadiums zeigte (Fig. 423 d und e). Hier und da verkleinert sich derselbe sogar noch (oft bis zu fast völligem Verschwinden) durch festeres Aneinanderschliessen der beiden Lamellen der Zellwand (Fig. 423 und 424 bei c oben), um sich später in Folge des Längen-

Digitized by Google

wachsthums der jungen Zelle wieder etwas zu erweitern. Nur das noch immer zu beiden Seiten der tiefer eindringenden Falte angesammelte farblose Protoplasma giebt in diesem Falle Kunde davon. Ausserdem überzeugt man sich auch davon durch die Anwendung von wasserentziehenden Reagentien, wobei die beiden zu den Tochterzellen sich entwickelnden Theile der Mutterzelle durch die Ringöffnung hindurch, je nach dem Fortschritte der Einschnürung, mittelst einer breiteren oder schmäleren Brücke in Verbindung bleiben (Fig. 424, I bei c, Fig. 424, II b, c und d). Die jugendliche Zellwand bleibt dabei, wenn das betreffende Reagens die passende Concentration besitzt, völlig von deren Wirkung unberührt und die schrumpfende Zellhaut behält ganz das Aussehen, welches sie in den ersten Entwickelungsstadien zeigte. Sie bleibt glatt und zeigt nirgends eine Veränderung, welche auf einen directen Uebergang derselben in die junge Zellwand schliessen liesse.

Sobald die Ringfalte geschlossen, die Theilung also vollendet ist, giebt sich dies nach Anwendung der eben genannten oder chemischer Mittel dadurch zu erkennen, dass die beiden Tochterzellleiber isolirt innerhalb der neu entstandenen Tochterzellwände zusammenfallen und sich nach angemessener Zeit der Einwirkung vollständig und allseitig von diesen zurückziehen.

Jetzt beginnt auch das Längenwachsthum der Tochterzellen sich geltend zu machen, und dauert so lange, bis diese die durchschnittliche Grösse der Mutterzellen erreicht haben. Dabei erweitert sich der Intercellularraum etwas und man erkennt deutlich den Zusammenhang des längs der Mutterzellwand verlaufenden Theiles der Tochterzellwand mit dem quer verlaufenden (Fig. 423 f). Dass dieses Verhalten mit einer an die Mutterzellwand ansetzenden — auf welche Weise dann mit derselben unlöslich sich verbindenden? — Querscheidewand unvereinbar ist, erscheint sofort klar.

Fig. 425.

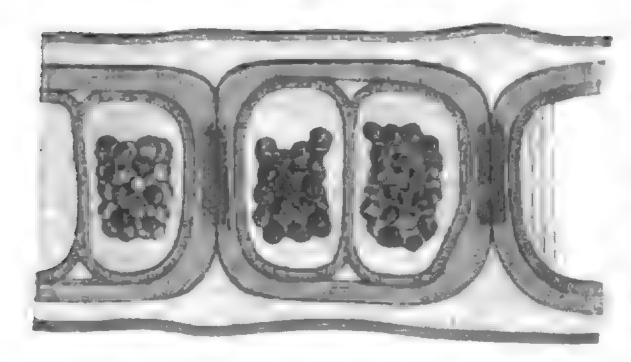


Fig. 425. Ein Fadenstück nach längerer Behandlung mit Jod und Schwefelsäure. Die dunkelsten Stellen zwischen den Zellen bringen die anfangs braungelb, dann violett gefärbten Reste der Mutterzellen früherer Generationen, die verschiedene Stärke in der Schraffirung der Zellwände, die verschiedene Tiefe der Blaufärbung zur Anschauung. Vergr. 1 : 680.

Recht belehrende Bilder gewährt auch die Behandlung mittelst der Zellstoffreagentien. Wendet man auf einen, verschiedene Theilungszustände zeigenden Faden Chlorzinkjodlösung oder Jodjodkaliumlösung und verdünnte Schwefelsäure an, so färben sich die in ihrer Ausbildung begriffenen oder eben vollendeten Zellwände zuerst und am intensivsten, während dies bei den älteren weniger intensiv und weit langsamer geschieht (Fig. 425); die ältesten bei Anwendung des ersteren Reagenzes oft sogar noch nach 24 Stunden ungefärbt erscheinen.

Digitized by Google

Dieses Verhalten der jugendlichen Zellwände, welches sich bei allen Fadenalgen in mehr oder minder ähnlicher Weise wiederholt, ist insofern von Wichtigkeit, als es von demjenigen der eben entstandenen cambialen, wie aus den früheren Darlegungen (S. 570 u. f.) ersichtlich ist, aus Pektose bestehenden Zellwänden der Zellen geschlossener Gewebe, entschieden abweicht.

Eine eigentliche verkittende Intercellularsubstanz (Mittellamelle in meinem Sinne) entsteht bei Ulothrix, wie bei den übrigen von mir beobachteten Fadenalgen nicht. Was Schacht seinerzeit dafür angesehen, ist mit diesem Bestandtheile der geschlossenen Gewebe nicht identisch. Die einzelnen Zellen liegen, wie schon weiter oben erwähnt, lose neben einander in den als Scheiden verbleibenden Mutterzellwand-

Fig. 426.

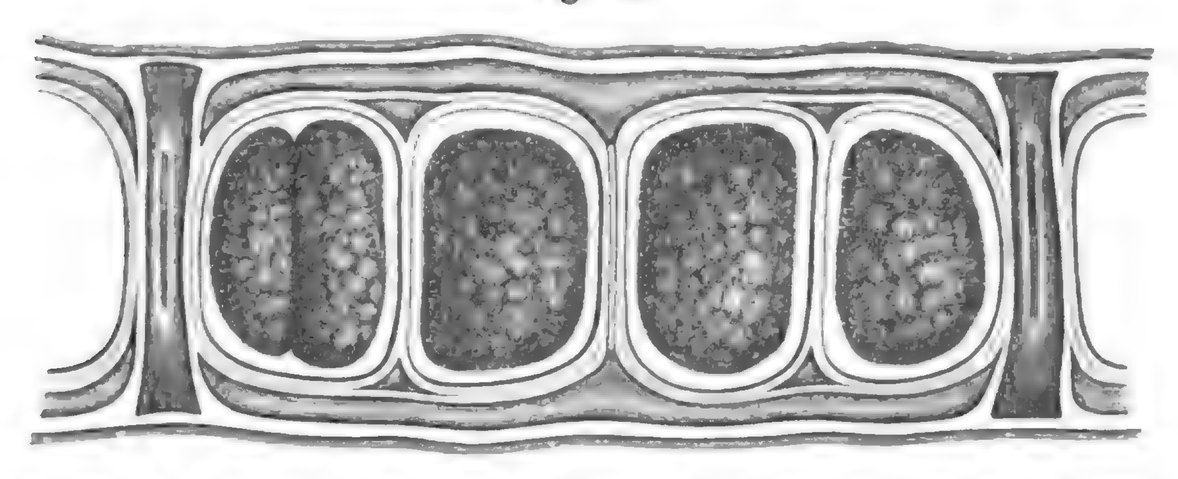


Fig. 426. Theil eines seit Jahren in einer Mischung von Glycerin, Alkohol und Wasser aufbewahrten Fadens, welcher die drei auf einander folgenden Generationen der aus Theilungen hervorgegangenen Zellen deutlich erkennen lässt. Vergr. 1 : 900.

generationen und lassen sich an passenden Schnittstellen der Fäden mittelst der Nadel einzeln oder in, den in Fig. 426 dargestellten — auch an älteren, von mir früher eingelegten Präparaten noch deutlich erkennbaren — Generationscyclen entsprechenden, Gruppen von 2, 4 u. s. w. aus jenen, die an älteren Zellen nach Innen stark verquollen erscheinen, herausziehen.

Aus dem geschilderten Verhalten ist festzustellen, dass die Zelltheilung hier keineswegs durch eine einfache, an die Mutterzellwand ansetzende Scheidewand herbeigeführt, sondern dass über den ganzen Umfang der Tochterzellen eine Tochterzellwand gebildet wird.

In welchem Verhältnisse bei der Neubildung das den Kern umgebende Protoplasma und die Zellhauteinfaltung stehen, lässt sich an frischem Material nicht vollständig sicherstellen. Doch habe ich an mittelst Alkohol entfärbten Fäden feine Protoplasmafäden nach dem Umfange der Zelle, jedoch in erhöhter Anzahl nach der Einschnürungsstelle hin verlaufen sehen. Es dürften also wohl von ersterem aus durch die letzteren zunächst der Zellhaut die Nährstoffe zugeführt werden, welche durch Intussusception deren in der Einfaltung zu Tage tretendes Wachsthum herbeiführen.

Digitized by Google

Bei der herrschenden, von der meinen wesentlich abweichenden Ansicht, wäre es höchst wünschenswerth gerade Ulothrix, welche von Strasburger in den späteren Auflagen seines „Zellenbuches" und anderen den Gegenstand betreffenden Schriften nicht mehr berücksichtigt worden ist, erneuten Untersuchungen und zwar sowohl und vorzugsweise an lebendem, hier — von der Kerntheilung abgesehen — am meisten ausschlaggebenden, als an gehärtetem und gefärbtem Materiale zu unterwerfen.

Zelltheilung von Cladophora. Ein am frühesten und am häufigsten zur Beobachtung der Zelltheilung untersuchtes Object bietet die Fadenalge Cladophora glomerata dar, welche fast in jedem kleineren fliessenden Gewässer unseres Vaterlandes aufzufinden ist*).

Bringt man einen kleinen Theil der grünen Rasen dieser Fadenalge und zwar wieder am zweckmässigsten von dem Wasser umgeben, in welchem sie erwuchs, unter das Mikroskop, so werden, namentlich in der Morgenstunde, und wenn man die Endzellen der Aeste genauer untersucht, bald die entsprechenden Theilungszustände, welche sich sowohl an den Endzellen, als an mittleren Zellen des Fadens abspielen können, aufzufinden sein. Schon auf den ersten Blick zeichnen sich die in Theilung begriffenen oder der Theilung nahen Zellen dadurch aus, dass sie die tiefer gelegenen etwa um das Doppelte ihrer Länge übertreffen. Der Beginn der Theilung verräth sich durch zwei mehr oder weniger nahe der Mitte gelegene helle Stellen der auf den Rand eingestellten Zelle (Fig. 427 a), welche durch eine im Umkreise derselben stattfindende Ansammlung farblosen Protoplasmas veranlasst werden. Die an dieser Stelle stärker ernährte Zellhaut (Hautschicht) der Mutterzelle faltet sich hierauf ringförmig ein, und schnürt, die farblose Protoplasmaansammlung vor sich herschiebend, deren Inhalt ein (Fig. 427 b). Am deutlichsten tritt diese Einfaltung bei langsam vegetirenden (im Zimmer cultivirten) Pflanzen hervor, weniger bemerklich und leicht übersehbar tritt sie dagegen bei ihrem Standort frisch entnommenen, rasch wachsenden Exemplaren auf. Schon kurz nach oder im letzten Falle fast augenblicklich nach dem Beginn der Einfaltung der Zellhaut beginnt die Abscheidung der Zellwand und schreitet mit dem Vordringen der Einfaltung jener stetig fort (Fig. 427 d bis g), so dass kurz nach oder mit der vollendeten Theilung des lebendigen Zellleibes die entstandenen Tochterzellen auch schon ihre zarte, gegen Reagentien, namentlich gegen Jod und Schwefelsäure noch höchst empfindliche und durch deren Einwirkung bisweilen schrumpfende und dadurch von der Mutterzellwand auf kürzere oder längere Erstreckung sich ablösende

*) Ich habe Cladophora wieder in neuester Zeit beobachtet und bin zu denselben Resultaten gelangt wie früher, so dass ich an der in der ersten Auflage gegebenen Darstellung der Zelltheilung hier wie bei anderen neuerdings beobachteten Objecten nichts Wesentliches zu ändern habe.

Digitized by Google

(Fig. 427 f), hier und da auch in der Quere sich von einander trennende (Fig. 427 g u. 428 a) Zellwände besitzen, welche in der Folge nur noch wenig verdickt werden. Die zwischen den Querwänden verlaufenden Theile der Mutterzellwände werden bei lebhafter Vegetation schon bald aufgelöst, so dass an schon länger getheilten Zellen die beiden an einander stossenden Wandungen durch eine scharfe dunkle Linie oder einen Spalt getrennt werden und als eine Doppelplatte erscheinen (Fig. 427 g).

Fig. 427.

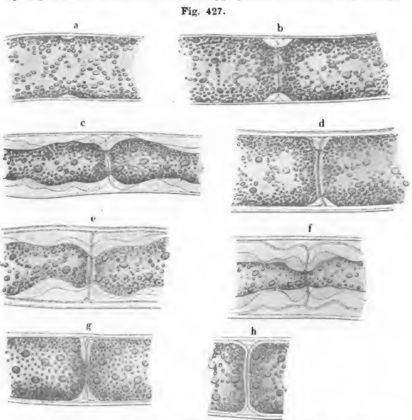


Fig. 427. Zelltheilung von Cladophora glomerata. a, b, d, g, h auf einander folgende Theilungszustände, c und e die Zustände, b und d zeigen Fadenstücke mit wasserentziehenden Mitteln behandelt, f unfertiger Theilungszustand unter Einwirkung von Jod und Schwefelsäure, wobei die Tochterzellwände sich von der Mutterzellwand theilweise abgelöst haben. Vergr. 1 : 500.

Um sich recht klare Bilder des Fortschreitens der Theilung zu verschaffen, ist es zu empfehlen, endosmotische Reagentien in Anwendung zu bringen, in Folge dessen sich Präparate herstellen lassen, wie sie in den Figuren dargestellt sind. Wo die Tochterzellen an die Zellwand der Mutterzelle angrenzen, da entsteht immer ein bei der Randeinstellung der betreffenden Zellen dreieckig erscheinender Intercellular-

Digitized by Google

raum, der um so deutlicher hervortritt, je langsamer das Wachsthum ist. Bei sehr üppig vegetirenden Algenrasen ist jedoch die Vermehrung des Protoplasmas an der Theilungsstelle so bedeutend, dass die Zellhautfalte und jugendlichen Zellwände nahe zusammen und an die Mutterhülle gedrängt werden und der Intercellularraum fast völlig verschwindet.

Die Entwickelungsvorgänge und insbesondere die Bildung der Zellwände um den ganzen Umfang der Tochterzellen vollziehen sich

Fig. 428.

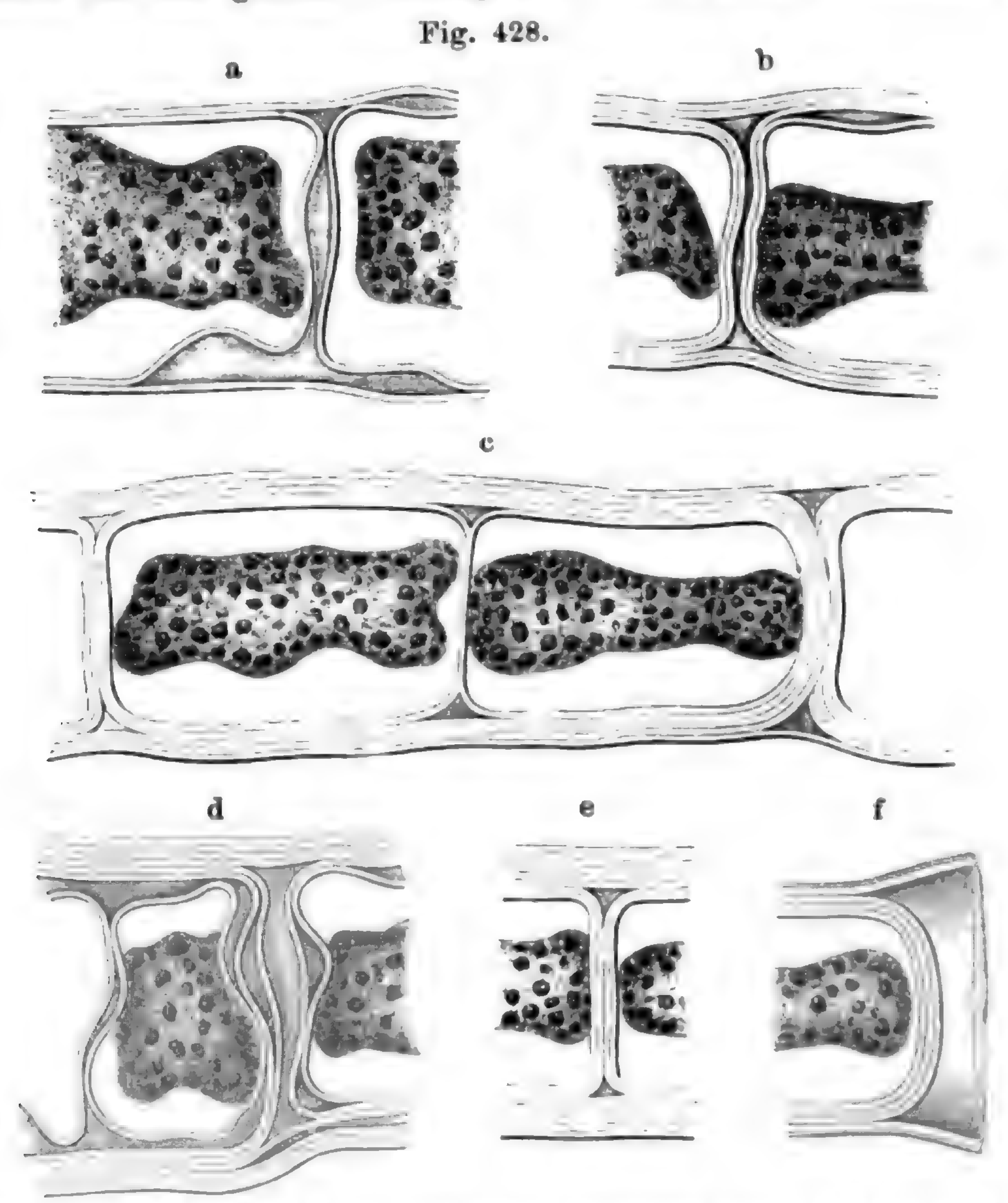


Fig. 428. Theilstücke von mit 10 proc. Chromsäure behandelten Fäden der Cladophora fracta. a Zwei an einander stossende Tochterzellen erster Generation mit von der Mutterzellwand theilweise abgelösten und in der Quere getrennten Wänden, b desgleichen dritter und vierter Generation, c zwei junge Tochterzellen innerhalb von mehreren Muttergeneraiionen entstanden, d ähnlicher Zustand, links mit zwei kurzen, eben fertigen Tochterzellen, e zwei innerhalb mehrerer Mutterzellgenerationen entstandene Tochterzellen zweiter Generation, f Endstück eines durchschnittenen Fadens mit einer in der Scheide steckenden Zelle dritter Generation, deren Schwesterzelle herausgezogen wurde. Vergr. 1 : 500.

also, abgesehen von der Kerntheilung, hier ganz in derselben Weise wie bei Ulothrix. Einen schlagenden Beweis für die Wandbildung über den ganzen Umfang der Tochterzellen liefern namentlich ältere, im Spätsommer gesammelte Fäden von Cladophora fracta. Bei diesen

Digitized by Google

bleiben die Zellwände sämmtlicher Generationen über den ganzen Umfang derselben erhalten und trennen sich bisweilen auf kürzere oder längere Strecken von einander, so dass man die Ineinanderschachtelung derselben namentlich nach Einwirkung von 5- bis 10-procentiger Chromsäure genau beobachten kann (Fig. 428 a bis f).

Zelltheilung der Oedogonien. — Einen interessanten Fall der Zweitheilung bildet die Zellenvermehrung der Oedogonien. Dieselbe ist mannigfach missverstanden und falsch gedeutet worden und soll dieselbe daher etwas eingehender erörtert werden.

Um den Zelltheilungsprocess dieser Algengattung, deren Verlauf sich bei erneuten, auch an anderen als seiner Zeit untersuchten Arten ausgeführten Beobachtungen ebenso gefunden, wie bei meiner früheren Darstellung, richtig zu verstehen, ist es vor allem nothwendig, sich eine klare Anschauung der Mutterzellen zu verschaffen, ehe dieselben zur Theilung gelangen.

Unterwirft man je zwei ausgewählte zusammenstossende Zellen einer genauen mikroskopischen Analyse, so wird man folgenden Bau nicht zu verkennen im Stande sein. Die obere der beiden Zellen, die je nach Umständen an ihrem vorderen Ende von einer bis mehreren (8 bis 12) der bekannten Kappen bedeckt wird, erscheint von zwei Zellwänden umkleidet. Die innere stärker entwickelte Fig. 429 a, z^1 a. f. S. bildet die Zellwand der der Beobachtung unterliegenden Zelle, die äussere oft schwierig zu erkennende immer äusserst zarte (Fig. 429 a, z^2), gehört dagegen der nächst vorhergehenden Generation, d. h. der Mutterzelle an, in der sich die beiden der Beobachtung unterliegenden Zellen gebildet haben. Bei der unteren der beiden Zellen tritt noch eine dritte Hülle hinzu, welche aber nahe unter dem oberen, an die erste Zelle stossenden Ende durch eine deutliche Querlinie gerade abgeschnitten ist (Fig. 429 a, *s*). Wir haben in ihr die sogenannte Scheide vor uns.

Diejenigen Zellen, welche sich zur Theilung anschicken, was häufiger bei der oberen als bei der unteren der beiden in einer Mutterzelle entstandenen Tochterzellen geschieht (das durchschnittliche Verhältniss ist etwa wie 1 : 5 bis 6), sind leicht daran zu erkennen, dass unmittelbar unter der Querlinie der jüngsten Kappe eine den hier protoplasmareicheren Inhalt der Zelle einschnürende, sich ringförmig über die Innenfläche der Zelle erstreckende Einfaltung der inneren Zellwand auftritt. Letztere, anfangs nur schwach entwickelt, nimmt, wie sich namentlich in den frühen Morgenstunden an im Zimmer cultivirten Pflanzen leicht beobachten lässt, nach und nach am Umfang zu, bis sie die in der Figur dargestellte Form erreicht hat und nun einen nach der äusseren Wand meist schmalen, bisweilen auch breiteren, spaltenförmigen, nach dem Zelleninnern rundlichen Hohlraum zwischen sich lässt (Fig. 429 a, b bei *r*). Diese Ringfalte, welche von Pringsheim

Digitized by Google

Fig. 429.

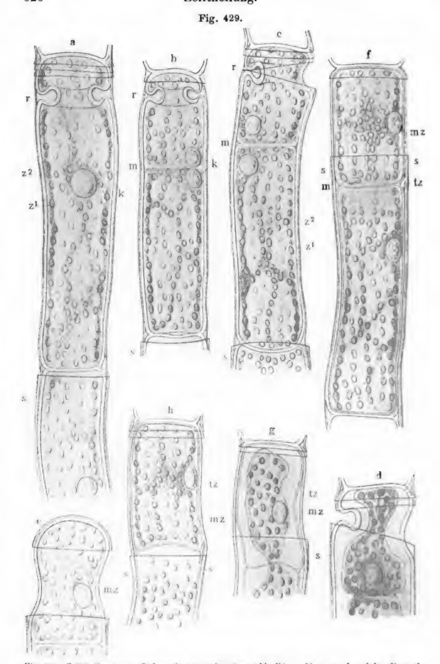


Fig. 429. Zelltheilung von Oedogonium apophysatum (Al. B.). a bis c, e, f und h, die auf einander folgenden Theilungszustände, d eine Zelle auf der Stufe, c mit Jodkaliumlösung behandelt, g desgleichen der Stufe f mit Jod und Schwefelsäure behandelt, wobei die junge Zellwand der noch nicht fertigen Tochterzellen *tz* von der Mutterzellwand stellenweise abgelöst wurde, *k* Kern, *r* Ringfalte, z^1 Zellwand der jüngsten, z^2 jene der vorhergehenden Generation. *s* Scheide, *m* Theilungsstelle. Vergr. 1 : 670.

Digitized by Google

in völliger Verkennung der Organisationsverhältnisse als eine ringförmige Zellstoffansammlung erklärt, von Hartig, H. v. Mohl, de Bary, Hofmeister, Strasburger u. A. aber für die innerste, d. h. jüngste Schicht der Zellwand der werdenden Mutterzelle angesehen worden ist, gehört, wie eine sorgfältige, mit starker Vergrösserung vorgenommene, durch Anwendung von Reagentien unterstützte Beobachtung zu überzeugen im Stande ist, der ganzen inneren, d. h. der Zellwand der werdenden Mutterzelle an. Stellt man genau auf den Rand der betreffenden Stelle ein, so sieht man je nach den einzelnen Zellindividuen oder Arten der Gattung bald mehr bald minder deutlich wie die Einfaltung nur von der äusseren, zarten Wandschicht überspannt ist und mit jener Zelle im vollen, nicht etwa theilweisen Zusammenhange steht (Fig. 429 a bis c bei *r*). Der Innenraum zwischen der Faltung und der äusseren Zellwand ist, soweit ich mich dessen versichern konnte, leer, und rührt der eigenthümliche Glanz, welchen diese Stelle beim Betrachten von oben zeigt, von dem über und unter der genau eingestellten Fläche verlaufenden Theile einer einen hohlen Cylinder bildenden Partie der äusseren Zellwand her. Die innere und äussere Begrenzung der Falte erscheint bei richtiger Einstellung vollkommen scharf. Auch kann man sich durch eine Flächenansicht der Zellstofffalte von deren Innenhöhle überzeugen, obwohl hier, wie natürlich, die Grenzen der Membranflächen nicht so scharf ausgesprochen erscheinen können.

Während der Ausbildung des Faltenringes wächst der in der oberen Hälfte der werdenden Mutterzelle gelegene, wandständige Kern mehr und mehr, bis er etwa das Doppelte seiner ursprünglichen Grösse erreicht hat, und theilt sich hierauf durch mittelbare Theilung, welche man unter Umständen nach Strasburger an kurze Zeit in einprocentiger Chromsäure gehärteten, in mit Glycerin und Alkohol verdünnten Carminlösungen gefärbten Objecten beobachten kann, in zwei Tochterzellkerne (Fig. 429 b). Nach vollzogener Theilung des Kernes erscheint in gleicher Höhe mit dem noch schmalen Raume zwischen den Tochterkernen, von denen Protoplasmaströmchen nach dem Wandplasma der Mutterzelle verlaufen, eine ringförmige Ansammlung farblosen Protoplasmas (Fig. 429 b bei *m*), der alsbald eine Einfaltung der Zellhaut (des Primordialschlauches) folgt (Fig. 429, c), welche die Mutterzelle in zwei Tochterzellen, eine obere kürzere und eine untere längere, abzuschnüren beginnt. Noch ehe die Einschnürung der Zellhaut vollendet ist, reisst gerade über der Ringfalte der Mutterzellwand die äussere Hülle nach und nach in der Weise auf, wie es bei den Fäden unter c und d dargestellt ist, und es dehnt sich nun die Zellwand der Mutterzelle um die Grösse der Ringfalte aus (Fig. 429 e). Die untere Zellwand wächst nun unter gleichzeitiger Abscheidung der jungen Tochterzelle in die Länge und schiebt die obere vor sich her, während die Zellwand der Mutterzelle mehr und mehr gedehnt wird (Fig. 429 f).

Digitized by Google

Sobald die untere Tochterzelle bis zu dem durch das Aufreissen der äusseren Hülle entstandenen Querstreifen der Scheide herangewachsen ist, erscheint die Theilung, d. h. die Abschnürung vollendet, und es hat sich die jugendliche Zellwand der beiden Tochterzellen über den ganzen Umfang der ein- und abgeschnürten Mutterzellhaut abgeschieden, so dass nun zwei vollständige Tochterzellen vorhanden sind (Fig. 429 h). Jetzt beginnt auch unter fortdauernder Einlagerung von Zellstoff in die junge Wandung die Ausdehnung der oberen Tochterzelle und dauert so lange fort, bis dieselbe etwa die Länge der unteren Tochterzelle erreicht hat. Die Zellwand der Mutterzelle, der Ausdehnung der Tochterzellen folgend, ist jetzt zu der zarten äusseren Hülle geworden und die Organisation der beiden Tochterzellen auf der Stufe angelangt, von welcher wir oben ausgegangen sind.

Dass der Theilungsvorgang ganz wie bei den vorhergehenden Fällen durch die meist sehr rasch verlaufende Abschnürung der Mutterzellhaut eingeleitet und durchgeführt wird und die Abscheidung der Tochterzellwände über dem ganzen Umfange jener erfolgt, davon kann man sich durch die Anwendung der bereits im Voraustehenden genannten Reagentien überzeugen (Fig. 429 d und g). Besonders belehrend sind solche Bilder, wie sie bisweilen durch die Einwirkung von Jod und Schwefelsäure hervorgerufen werden.

Die Zelltheilung der Oedogonien lässt sonach ganz und gar nichts Abnormes beobachten. Sie geht im Wesentlichen ganz in derselben Weise vor sich, wie bei den übrigen Fadenalgen. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Mutterzelle nicht (wie bei jenen) schon vor der Tochterzellenbildung auf fast ihre doppelte Länge heranwächst, sondern dass in Folge des an der Spitze stattfindenden Wachsthumes deren von der nicht mehr ausdehnungsfähigen älteren Hülle im Längenwachsthum beschränkte Zellwand sich ringförmig einfaltet und dass die Dehnung der Mutterzellwand erst dann erfolgt, wenn die starre äussere Hülle durch die Gewalt des Wachsthumsprocesses gesprengt worden ist. Dass die Einfaltung der Zellwand dicht unter den Kappen stattfindet, erklärt sich höchst einfach aus dem Spitzenwachsthum und aus mechanischen Gründen. Indem die Zellwand durch die Klappenstücke fest umschlossen und inniger an die äussere Hülle gedrängt wird, muss die Einfaltung ganz natürlich gerade unter dieser Stelle beginnen und fortschreiten, während die untere Partie der Zellwand nachschiebt. Ebenso einfach erklärt sich das Aufreissen der äusseren Hülle in gleicher Höhe mit der Einfaltungsstelle. Die Anfangsstellen der Falte, deren Ausdehnung nach Innen durch den Inhalt der oberen entstehenden Tochterzelle beschränkt wird, müssen einen Druck nach Aussen auf die gerade über ihnen verlaufende Stelle jener ausüben und dadurch das scharfe Aufreissen da bewirken, wo sie nicht mit der Zellwand selbst in Verbindung steht, sondern frei über die Einfaltung ausgespannt, somit am leichtesten trennbar ist.

Digitized by Google

Aus dem ganzen Entwickelungsprocesse folgt ausserdem augenscheinlich, dass die Kappen nicht ringförmige Stücke sein können, sondern dass sie gleichsam übereinandergeschachtelte fingerhutförmige Theile der Hüllen sind. Schon die Beobachtung unverletzter Zellen giebt Aufklärung hierüber, die aber auf das Allerbestimmteste erzielt wird, wenn man einen Faden mit Schwefelsäure behandelt, welche die Hüllen aufquellen macht und die Schichten lockert. Nur die oberste Kappe von Zellen aus der Mitte des Fadens gehört einem ringförmigen oder vielmehr röhrenförmigen Hüllstück (einer Scheide) an und wurde durch die Theilung der unteren Tochterzelle hervorgebracht, welche, wie oben erwähnt, seltener erfolgt, als die der oberen. Dass von den beiden Tochterzellen die obere mit Ausnahme ihres vorderen Endes nur in einer Hülle, die untere dagegen in der Regel nur in dieser und einer Scheide, nur da, wo eine einmalige oder wiederholte Theilung unterer Tochterzellen mit gleichzeitiger Theilung der nächst unteren vegetativen Zelle stattgefunden hat, in mehreren Scheiden steckt, folgt ebenfalls, ohne dass eine weitläufigere Auseinandersetzung nöthig wäre, aus dem ganzen Entwickelungsgange.

Entstehung der monokotyledonen Pollenmutterzellen. — Unter den Monokotyledonen, deren Pollenmutterzellen bei regelrechtem Verlaufe der Entwickelung aus auf einander folgender Zweitheilung hervorgehen, eignen sich namentlich die Liliaceen zur Beobachtung der betreffenden Vorgänge, welche ohne wesentliche Störung des Inhaltes in weichem Brunnenwasser, besser aber in einer indifferenten Zusatzflüssigkeit vorgenommen werden kann. Nimmt man einen Längs- oder Querschnitt aus den Antheren ganz junger Blüthenknospen von irgend einer derartigen Pflanze und befreit die meist unregelmässig verdickte Zellwände aufweisenden Mutterzellen unter dem einfachen Mikroskope mittelst der Nadel, so wird man unter denselben bald solche herausfinden, welche sich zur Theilung anschicken. Wo es der trübe Inhalt gestattet, erkennt man dieselben sofort daran, dass an Stelle des Mutterzellkernes zwei Tochterzellkerne auftreten, welche in der unter I. beschriebenen Weise durch Theilung entstanden sind. Von den beiden Tochterkernen, deren feinerer Bau an den frischen Objecten meist nicht genau erkannt werden kann, verlaufen nun, wie man unter günstigen Umständen an frischem Material, deutlicher aber an durch 36- bis mehrstündiges Liegen in absolutem Alkohol gehärtetem und mittelst wässrig-alkoholischer Safraninlösung gefärbtem *) wahrnimmt, während

*) Zur Härtung bringt man von den Blüthendecken befreite Blüthenknospen in absoluten Alkohol, nimmt dann Quer- oder Längsschnitte der Antheren, legt sie 12 bis 24 Stunden in eine aus gleichen Theilen destillirtem Wasser und absolutem Alkohol bereitete Safraninlösung und bettet nach Auswaschen in absolutem Alkohol zur Beobachtung in Dammarlack oder Canadabalsam ein.

Digitized by Google

die „Zellplatte" allmälig undeutlicher wird und dann verschwindet, nach allen Richtungen hin zarte Protoplasmafäden. Hierauf folgt die fortschreitende Einschnürung der Zellhaut („Hautschicht") (Fig. 430, I a) mit der die Abscheidung der Tochterzellwände Schritt hält, so dass kurz

Fig. 430.

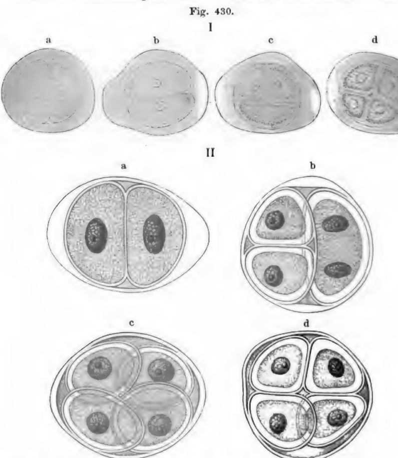


Fig. 430. Theilungszustände bei Entstehung der monokotylen Pollenmutterzellen, I von Anthericum Liliago, a beginnende Einschnürung der Zellhaut, b zwei fertige Tochterzellen der ersten Theilung, c Einleitung der Theilung der einen Tochterzelle nach der vollzogenen zweiten Kerntheilung *), d vier fertige Tochterzellen. Vergr. 1 : 500. II Fertige Theilungszustände von Lilium bulbiferum eines in Wasser liegenden Präparates, a zwei fertige Tochterzellen erster Theilung, sofort beobachtet, b drei, c und d vier fertige Tochterzellen zweiter Theilung, nach längerer Aufbewahrung beobachtet. Die lebendigen Zellleiber sind etwas geschrumpft und die an den betreffenden Objecten vorliegenden Structurverhältnisse scharf ausgesprochen. Vergr. 1 : 600.

nach Vollendung der Abschnürung der beiden lebendigen Tochterzellleiber auch sie als zarte Membran vorhanden ist (Fig. 430, I b). In

*) Die Kerne sind nur andeutungsweise wiedergegeben.

Digitized by Google

den beiden Tochterzellen wiederholt sich nun derselbe Process, indem zunächst die Entstehung zweier Tochterzellkerne erfolgt, und dann die Ein- und Abschnürung der Zellhaut sowie die Abscheidung der Zellwände eintritt (Fig. 430, I c und d). Die erste Theilung findet gewöhnlich nach der Querachse der Mutterzelle, d. h. senkrecht zu der Linie, welche man sich durch die beiden stärker verdickten Stellen der Zellwand denken kann, statt, ist jedoch keineswegs ausnahmslose Regel. Die zweite Theilung zeigt hier und da insofern eine gewisse Unregelmässigkeit, als dieselbe nicht immer zu gleicher Zeit vor sich geht, und in der einen Tochterzelle oft schon die beiden pollenbildenden Zellen vollständig fertig sind, während in der anderen die zu erwartende Theilung erst durch die beiden Tochterzellkerne angezeigt ist (Fig. 430 b).

Auf dieser Entwickelungsweise der Pollenmutterzellen der Monokotyledonen beruht die fast stets kreuzweise Lage derselben in einer Ebene, während sowohl bei den Sporenmutterzellen der höheren Kryptogamen, als bei den Pollenmutterzellen der übrigen Phanerogamen die sogenannte tetraëdrische Stellung die häufigere, die kreuzweise die seltenere ist.

Um sich von der vorgängigen Einschnürung der Zellhaut und der erst secundär erfolgenden Entwickelung der Zellwand sowie davon zu überzeugen, dass nicht etwa zwischen den Kernen aus den „Zellplatten" hervorgehende, sich an die Mutterzellwand ansetzende einfache Scheidewände gebildet, sondern um den ganzen Umfang des lebendigen Zellleibes neue Tochterzellwände entwickelt werden, braucht man nur nach der schon von den älteren Forschern und auch von mir in meinen betreffenden, früheren Arbeiten angewendeten Methode auf die allerjüngsten und folgenden Theilungszustände verdünnte Zucker-, Salz- oder Jodlösung einwirken zu lassen. Man wird hierauf finden, dass in den ersten Entwickelungsstadien stets nur der lebendige Zellleib (d. h. der Inhalt sammt der ihn mehr oder minder einschnürenden Zellhaut) in Theilung begriffen ist, während die Mutterzellwand im optischen Querschnitt in dem ganzen Innenraum glatt verläuft und keine Spur eines nach Innen gewendeten dreieckigen Vorsprunges zeigt. Erst wenn die Einfaltung der Zellhaut etwas weiter fortgeschritten ist, erkennt man an der Innenseite der Mutterzellwand die neu abgeschiedene, an der Einschnürungsstelle — wie schon von H. v. Mohl richtig gesehen und dargestellt — einen mehr oder minder weiten, an frischem Material leicht erkennbaren Intercellularraum (Fig. 430, I b u. d und II) bildende, doppelt begrenzte, sich von der ersteren durch stärkeres Lichtbrechungsvermögen scharf abhebende Zellwand der Tochterzellen, die je nach dem Alter der Entwickelungszustände ihrer Vollendung mehr oder minder nahe steht, so dass die mittelst Einwirkung der wasserentziehenden Reagentien zusammengefallenen lebendigen Zellleiber der beiden jeweilig im Entstehen begriffenen Zellen durch einen mehr oder

Digitized by Google

minder starken Verbindungsstrang mit einander vereinigt bleiben (siehe die Fig. 431, I d auf S. 634).

An gehärtetem Material, wie auch in Glycerin aufbewahrtem, wo die Mutterzellen ziemlich stark quellen, sind diese Verhältnisse kaum mit gleicher Sicherheit zu erkennen.

Auf polarisirtes Licht wirken weder die Zellwände der Mutter- noch der Tochterzellen. Es führt somit diese Thatsache darauf, dass dieselben nicht aus Pectose-Cellulose, sondern, wie Mangin (a. a. O.) gefunden hat, aus Callose bestehen.

Zelltheilung im Embryosack und in den vegetativen Geweben der höheren Gewächse. Ueber die hier sich vollziehenden Vorgänge bin ich zur Zeit leider noch nicht zu abschliessenden Ergebnissen gelangt. Indessen führen die Entwickelungsgeschichte der Intercellularsubstanz, die Ergebnisse der Untersuchungen über das gleitende Wachsthum, sowie die Beobachtung der Gestaltungsverhältnisse der Wandungen fertiger, aus Zelltheilung hervorgegangener Zellen. darauf hin, dass auch hier die Neubildung der Tochterzellwände im ganzen Umfange des lebendigen Zellleibes der werdenden Zellen erfolgt, der Entwickelungsvorgang also nicht durch eine einfache, an die Mutterzellwand ansetzende Scheidewand vollzogen werden kann. Soweit meine Beobachtungen reichen, verhält sich die „Zellplatte“ bei diesen Zellbildungsvorgängen ähnlich, wie bei der Vielzellbildung und es strahlen vor der Neubildung der Tochterzellwände, von den Tochterkernen ab nach allen Seiten hin Protoplasmalamellen aus. Es könnte hier nur die Frage offen bleiben, ob die Entwickelung in der Weise wie bei der Vielzellbildung im Embryosacke, oder wie bei der Zelltheilung der Algen und der Entstehung der Pollen- und Sporenmutterzellen erfolgt. Jedenfalls dürfte es angezeigt sein, die bisher über die hier in Frage kommenden Entwickelungsvorgänge veröffentlichten Beobachtungen erneuten Nachuntersuchungen und zwar vor allem an lebendem Materiale und unter Anwendung der älteren Reagentien und dann vergleichend an gehärteten und gefärbten Objecten zu unterwerfen.

B. Viertheilung.

Die Viertheilung, welche bei der Bildung der Pollenmutterzellen der Dikotyledonen und der Sporenmutterzellen der höheren Kryptogamen statt hat, erfolgt derart, dass nach vorhergehender wiederholter Kerntheilung ohne gleichtheilige Zelltheilung aus dem lebendigen Zellleib der Mutterzelle um die vier Tochterkerne vier Tochterzellen entwickelt werden.

Entstehung der dikotyledonen Pollenmutterzellen. — Zum Studium der Theilungsvorgänge, aus denen die Pollenmutterzellen der

Digitized by Google

Dikotyledonen hervorgehen und welche sowohl an lebendem, von indifferenten Flüssigkeiten eingedecktem, als an gehärtetem Material zu beobachten sind, wähle man vorzugsweise Pflanzen mit möglichst grossen Antheren und solchen Blüthenständen (Strauss, Aehre oder Traube), welche die Untersuchung möglichst erleichtern und zu jeder Zeit verschiedenalterige Blüthenknospen darbieten. Besonders empfehlenswerth sind Cucurbita pepo, die verschiedenen Malven- und Stockrosen-Arten (Malva und Althaea), die Weidenröschen-, die Nachtkerzen-, endlich die grösseren Convolvulus- und Calystegia-Arten etc.

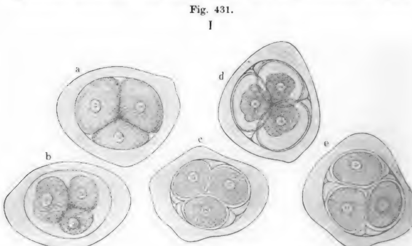
Ich wähle zur Darlegung der Entwickelungsgeschichte seiner allgemeinen Verbreitung halber den gemeinen Kürbis (Cucurbita pepo).

Die primären Zellwandungen der jugendlichen Mutterzellen sind hier (wie auch bei Althaea rosea, Convolvulus altheoides etc.) mit eigenthümlichen haarähnlichen Erhebungen versehen, die nach und nach, so wie die Verdickung der Zellwand weiter schreitet, verschwinden. Jede der Mutterzellen besitzt einen deutlichen, etwa deren Mitte einnehmenden, grossen Zellkern. Derselbe theilt sich zur Zeit, wenn die Ablagerung der secundären Verdickungsschichten vollendet ist, in zwei Tochterkerne, die aus einander rücken und eine wiederholte Zweitheilung eingehen, so dass sich nun in der Mutterzelle vier freie Zellkerne befinden, welche wie die später entstehenden pollenbildenden Zellen entweder in einer Ebene liegen (Fig. 431 f), oder — und zwar meistens — eine tetraëdrische (Fig. 431 a), bisweilen auch in zwei auf einander senkrechten Ebenen kreuzweise Lage einnehmen. Bald nachdem sich die secundären Kerne getheilt haben, tritt die Einfaltung der Zellhaut („Hautschicht") ein, und es erscheint der lebendige Zellleib in vier Portionen eingeschnürt (Fig. 431 a). Anwendung wasserentziehender Reagentien macht dieses Verhältniss noch deutlicher, und lässt zugleich erkennen, dass auf dieser Stufe durchaus noch keine aus Zellstoff gebildeten Scheidewandanfänge vorhanden sind (Fig. 431 b). An der unverletzten Zelle erscheinen die Einschnürungsstellen nur durch eine zarte einfache Linie begrenzt, und ebenso bildet die innere Grenze der stark und schichtenweise verdickten Zellwand nur eine scharfe Linie, welche über jene Stellen wegläuft. In etwas älteren Entwickelungszuständen erscheint an der Innenseite der Mutterzellwand eine doppelte, durch etwas stärkere Lichtbrechung sich hervorhebende Contour, die sich von beiden Seiten her in die Einschnürungsstelle hineinzieht und dort keilförmig endet. Zugleich tritt bei entsprechender Einstellung in der Mitte der Mutterzelle die Stelle deutlicher hervor, in der die in der Entwickelung begriffenen Wände der Tochterzellen abgerundet und einen Intercellularraum zwischen sich lassend, zusammenstossen (Fig. 431 c). Wasserentziehende Reagentien ziehen jetzt den lebendigen Zellleib zusammen und lassen die Anfänge der jugendlichen Zellwände hervortreten, die nach Innen hin noch unvollendet einen ringförmigen Raum offen lassen, durch welchen die noch nicht vollständig abgeschnürten Tochterzellen mit einander in

Digitized by Google

Verbindung stehen (Fig. 431 d). Die Zellwand schreitet nun in ihrer Vollendung nach Innen mit der weiter dringenden Abschnürung der Tochterzellen weiter fort (Fig. 431 e) und verdickt sich bisweilen bei der vorliegenden Pflanze, wie auch bei Althaea rosea u. a. öfter zugleich etwas ungleichmässig, wobei dann die stärker lichtbrechende junge Wand (Primärwand) deutlich hervortritt, so dass derartige Entwickelungszustände Bilder gewähren, wie die Fig. 431 f, wo die Abscheidung vollendet und der Mutterzellraum von vier fertigen Tochterzellen eingenommen erscheint. Bald tritt ein, an mit Jod behandeltem Objecte

Fig. 431.



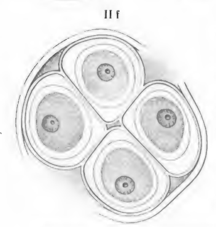


Fig. 431. I Zelltheilung bei Entstehung der Pollenmutterzellen von Cucurbita pepo, a Einleitung der Theilung, frisch beobachtet, b desgleichen nach der Behandlung mit einem wasserentziehenden Mittel, c fortschreitende Ausbildung der Tochterzellwand, d desgleichen nach gleicher Behandlung wie bei b, e vier fertige Tochterzellen. Vergr. 1 : 670. II Fertige, von der eben in Lösung befindlichen Mutterzellwand umgebene, in einer Ebene liegende Tochterzellen von Althaea rosea mit geschrumpften Zellleibern stark verdickten Wänden und deutlichem Hervortreten der Primärwand. Vergr. 1 : 800.

deutlicher hervortretendes Erweichen der Mutterzellwand von Innen her ein und der Intercellularraum ist gegen diese hin nicht mehr so scharf wie früher begrenzt.

Betrachtet man die verschiedenen Entwickelungszustände, in denen sich in den Anfängen der Entstehung der Tochterzellwände diese schon als über die ganze Innenseite der Mutterzellwand verlaufend, an den Theilungsstellen mit einem Intercellularraum von ihr nach innen ab-

Digitized by Google

biegend und als offene Ringplatten zeigen, durch welche die sich allmälig heranbildenden Tochterzellleiber noch mit einander in Verbindung stehen, so ergeben die darin vorliegenden Befunde Folgendes: Es entstehen auch hier, wie bei der Zweitheilung keine aus der sogenannten Zellplatte hervorgehende, den lebendigen Zellleib durchschneidende, an die Mutterzellwand ansetzende Scheidewände. Es werden vielmehr die Zellwände der Tochterzellen der Einschnürung der Mutterzellhaut folgend, über diese allmälig im ganzen Umfange und bis zum vollständigen Selbständigwerden der Tochterzellen aus dem thätigen Protoplasma abgeschieden. Jede der Tochterzellen erhält somit, wie die fertigen Zustände und namentlich aber solche, wie sie in Fig. 431 c u. d und f wiedergegeben sind, zeigen, ihre eigene Zellwand, an der kein Theil der Mutterzellwand theilnimmt.

Gegen polarisirtes Licht zeigen die Zellwände das S. 632 geschilderte Verhalten.

Entstehung der Sporenmutterzellen höherer Kryptogamen. — Unter den höheren Kryptogamen eignen sich namentlich die Leber- und Laubmoose, die Equisetaceen, manche Farnkräuter und Bärlappgewächse zum Studium der Entstehung der Sporenmutterzellen, und muss man unter diesen wieder solche wählen, welche grosse Sporen haben, wozu u. a. von ersteren namentlich die Gattungen Anthoceros, Fegatella, Frullania, Pellia, Blasia, Phascum, Gymnostemum, von den anderen z. B. Ophioglossum und Isoetes gehören. Längsschnitte durch die junge Kapsel führen hier am besten zum Ziele, und kann man die

Fig. 432.

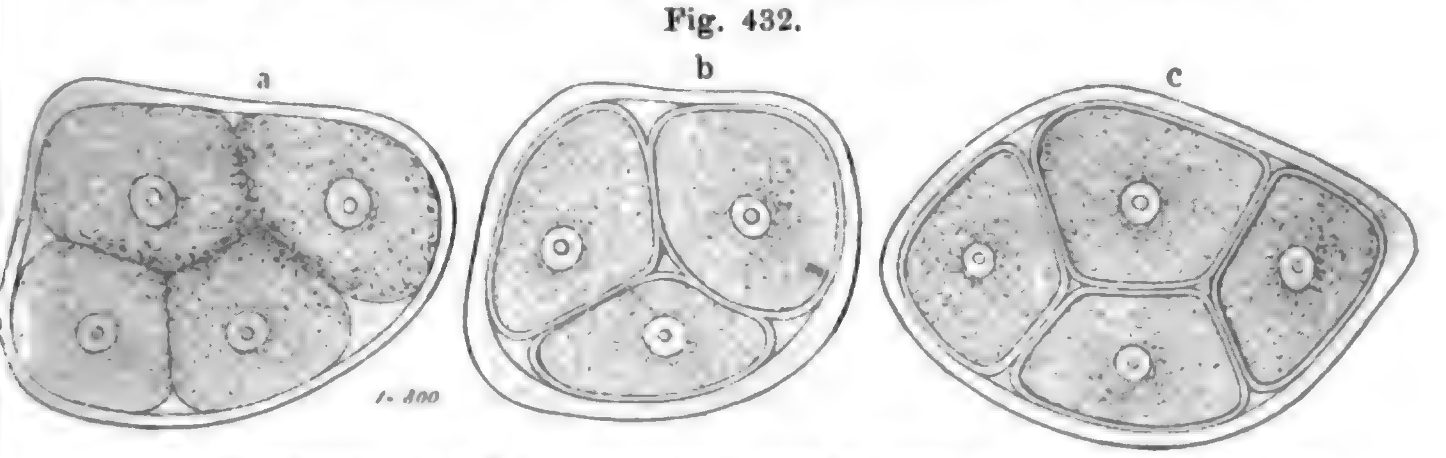


Fig. 432. Theilungszustände der Sporenmutterzellen von Marchantia polymorpha. a Einleitung der Theilung, b fortschreitende Ausbildung der Zellwand, c fertige Tochterzellen. Vergr. 1:670.

Mutterzellen erforderlichen Falles mittelst der Nadel unter dem Präparirmikroskope isoliren. Anthoceros laevis oder punctatus liefern insofern ein sehr bequemes Material, als man in ein und derselben Kapsel, wo die Entwickelung von der Spitze aus nach dem Grunde fortschreitet, oft alle Entwickelungszustände antrifft, welche man braucht.

Die Entwickelung verläuft hier ganz in derselben Weise, wie bei den Pollenmutterzellen. Es wird dieselbe daher keiner weitläufigen Erörterung bedürfen und begnüge ich mich zum Anhaltspunkte für die

Digitized by Google

einschlägigen Untersuchungen den Anfänger auf die beigegebene Entwickelungsgeschichte der Sporenmutterzellen von Fegatella conica (Fig. 432 a bis c, S. 635) nebst der Figurenerklärung zu verweisen.

Pellia epiphylla bildet hier eine ähnliche Ausnahme von der Regel, wie Oedogonium bei der Zelltheilung der Algen. Doch ist die Abweichung eine bedeutendere. Die anfangs ellipsoidischen bis nahezu kugelförmigen Mutterzellen (Fig. 433 a) verlieren diese Form, sobald sich die vier Tochterzellkerne gebildet haben, über deren Entstehung des trüben chlorophyllhaltigen Inhaltes halber nichts Bestimmtes zu er-

Fig. 433.

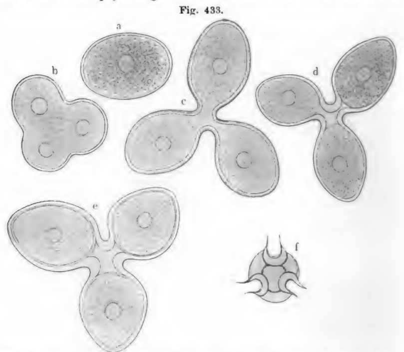


Fig. 433. Theilungszustände der Sporenmutterzellen von Pellia epiphylla. a Mutterzelle, b desgleichen nach Vollendung der Kerntheilungen mit beginnenden Ausstülpungen, c vollendete Ausstülpungen mit in dieselben übergetretenem Protoplasma, d die junge Sporenhaut hat sich bereits gebildet, e die jungen Sporen haben ihre Zellwand abgeschieden, f Ueberreste der theilweise gelösten Sporenmutterzellen. Vergr. 420.

mitteln ist. Je nachdem sich diese tetraëdrisch oder kreuzweise gelagert haben, entstehen in dem Zellenumfange vier Ausbauchungen, welche sich entweder nahezu in einer Ebene oder in verschiedenen Ebenen liegend darstellen (Fig. 433 b). In jeder dieser Ausbuchtungen liegt ein schwer sichtbarer Zellkern. Die Ausbuchtungen erheben sich durch fortwährendes Wachsthum der Mutterzellwand mehr und mehr nach Aussen und nehmen dabei eine eiförmige Gestalt an. Die weitere Entwickelung vollzieht sich nun in eigenthümlicher Weise. Die Mutter-

Digitized by Google

zellhaut schnürt sich nämlich nicht vollständig ab, sondern lässt eine in das Centrum mündende runde Oeffnung (Fig. 433 c). Der körnige, chlorophyllhaltige Inhalt hat sich auf dieser Entwickelungsstufe ganz in die vier Ausstülpungen (Tochterzellen) zurückgezogen, und die Mitte der Mutterzelle bleibt von einer wasserklaren Flüssigkeit erfüllt. Gelingt es nach der Anwendung von Jodlösung die Zellwand einer der Mutterzellen zu sprengen, so tritt der lebendige Zellleib heraus, und man erkennt auf das Bestimmteste, dass die vier Tochterzellen mit einander im vollständigen Zusammenhange stehen, etwa so, wie bei den noch nicht vollständig abgeschlossenen Theilungszuständen der Pollenmutterzellen. Nachdem die Entwickelung der Tochterzellwände erfolgt ist, bleiben die vier Tochterzellen nach der Mitte der Mutterzelle noch in offener Verbindung. Die weiteren Vorgänge beruhen in einer allmäligen Auflösung der Mutterzellwand und einer vermehrten Abscheidung von Zellstoff an der Stelle der Tochterzellwände, wo sie in das Centrum der Mutterzellen hineinragen (Fig. 433 d u. e), so dass diese hier weit stärker verdickt werden, als an den nach dem Umfang hin liegenden Theilen. Zu dieser Zeit entleert sich der innere Raum vollständig von seinem Inhalte, und es erscheinen die vier Tochterzellen von demselben durch eine zarte Grenzlinie abgeschlossen (Fig. 433 d). Wendet man jetzt ein wasserentziehendes Reagens an, so zieht sich nicht mehr die Gesammtheit der vier Tochterzellen, sondern jede einzelne dieser letzteren für sich in ihrer Zellstoffausstülpung zusammen. In jeder der unvollständigen Tochterzellen (Sporenmutterzellen) ist sonach durch freie Zellenbildung um den ganzen Inhalt eine neue Tochterzelle, die junge Spore, entstanden, welche sich rasch mit einer doppelt umgrenzten Zellwand umgiebt (Fig. 433 e) und später durch theilweise Resorption der Zellstoffwand der Sporenmutterzelle frei wird. Von den letzteren bleiben nur die centralen, stark verdickten Stellen noch längere Zeit bestehen und stellen sich dem Beobachter in der in Fig. 433 f wiedergegebenen Form dar.

Eine Viertheilung in Reihenform ist als Regel meines Wissens bis jetzt nur von Schacht bei den sogenannten Vierlingsfrüchten der Corallina- und Melobesia-Arten beobachtet. Sie tritt indessen auch hier und da bei der Entstehung der Sporen- und Pollenmutterzellen als Ausnahme auf.

H. v. Mohl: Ueber die Vermehrung der Pflanzenzellen durch Theilung. Dissertation aus dem Jahre 1835. Deren Umarbeitung. Vermischte Schriften 1846.

Ders.: Entwickelung der Sporen von Anthoceros laevis, Linnäa 1839 und Vermischte Schriften.

Unger: Ueber merismatische Zellenbildung u. s. w. Linnäa 1840 und Bot. Ztg. 1844.

Nägeli: Entwickelungsgeschichte der Pollenkörner. Zürich 1842.

Ders.: Zellenbildung und Zellenwachsthum. Schleiden's und Nägeli's Zeitschr. Heft I. 1844.

Digitized by Google

Hofmeister: Entwickelung des Pollens. Bot. Ztg. 1848.
Wimmel: Zur Entwickelung des Pollens. Bot. Ztg. 1850.
Schacht: Entwickelung des Sporangiums und der Sporen von Anthoceros. Bot. Ztg. 1850.
Alex. Braun: Betrachtungen u. s. w.
H. v. Mohl: Die vegetabilische Zelle. Braunschweig 1850.
Hofmeister: Vergleichende Untersuchungen u. s. w. und Beiträge zur Kenntniss der Gefässkryptogamen.
Schacht: Die Pflanzenzelle. Berlin 1852.
De Bary: Ueber die Algengattungen Oedogonium und Bulbochaete. Abhandl. der Senkenbergischen naturforschenden Gesellschaft. Frankfurt 1854.
Pringsheim: Bau und Bildung der Pflanzenzelle 1854.
Th. Hartig: Beiträge zur Entwickelungsgeschichte der Pflanzenzelle. Bot. Zeit. 1855.
H. v. Mohl: Der Primordialschlauch. Bot. Ztg. 1855.
Schacht: Lehrbuch u. s. w. 1855.
Pringsheim: Zur Morphologie und Systematik der Algen. Jahrbücher Bd. I, Heft 1. 1857.
Dippel: Beiträge zur vegetabilischen Zellenbildung. Leipzig 1858.
Ferner: Die betreffende Literatur S. 603.

3. Zellverschmelzung.

Die Zellverschmelzung (Copulation, Conjugation) tritt in mannigfach verschiedener Gestalt bei der geschlechtlichen Fortpflanzung auf und ist dadurch gekennzeichnet, dass die lebendigen Zellleiber zweier Zellen unter Verschmelzung der Zellkerne sich zu einem einzigen lebendigen Zellleib vereinigen, welcher sich mit einer Zellwand umgiebt.

Zur Beobachtung des hierbei stattfindenden Vorganges, welche man am besten in der feuchten Kammer vornimmt, eignen sich namentlich die Angehörigen der Algenfamilie der Conjugaten. Besonders empfehlen sich die überall in Gräben, Teichen u. s. w. auftretenden Spirogyren, von denen sich die in Copulation befindlichen Rasen durch das krause, ineinandergewirrte Aussehen der Fäden kenntlich machen. Zwei nebeneinanderliegende Fäden, von denen der eine (weibliche) etwas tonnenförmig angeschwollene Zellen zeigt (Fig. 434 a bis d), treiben an den einander gegenüberliegenden Gliedern stumpfliche Fortsätze, welche an den Spitzen mit ihren Zellenwandstücken verwachsen. Durch Erweichung und Aufsaugung der letzteren

Fig. 434.

d a b c

Fig. 434. Zellverschmelzung bei der geschlechtlichen Sporenbildung von Spirogyra quinina. a Vegetative Zelle des weiblichen Fadens, b und c aufeinanderfolgende Stufen der Copulation, d fertige junge Spore mit noch einfacher Zellwand. Vergr. 1 : 320.

Digitized by Google

wird demnächst zwischen den beiden verschmolzenen Zellen eine offene Verbindung hergestellt, durch die der unterdessen sich abgerundet habende Zellleib der einen (männlichen) Zelle zu demjenigen der gegenüberstehenden (weiblichen) allmälig hinübertritt (Fig. 434 b u. c) und mit ihm verschmilzt. Dabei fliessen die Chlorophyllbänder zusammen und die beiden Kerne vereinigen sich, wie es an gehärteten und gefärbten Präparaten festgestellt werden kann, zu einem einzigen. Der neugebildete Zellleib rundet sich ab, nimmt einen verhältnissmässig kleinen Raum ein, dehnt sich dann durch die Bildung des Zellsaftraumes wieder etwas aus und umgiebt sich mit einer Zellwand (Fig. 434 d).

Digitized by Google

Erklärung der Tafel-Abbildungen.

Tafel I.

Figur I (S. 5). 1 Quer-, 2 Längsschnitt einer jungen Markzelle von Clematis vitalba in polarisirtem Lichte bei eingeschaltetem Gypsplättchen Roth I. Ordn. Vergr. 1 : 400.

Figur II (S. 33 u. f.). Kerne aus der Zwiebelschale von Allium Cepa, und zwar 2 nach der unveränderten, 1, 3, 4, 6 und 7 nach der abgeänderten Hermann-Gram'schen Methode behandelt, 5 mit Carmin gefärbt. 1 junger ruhender Zellkern mit noch gleichartig gefärbtem Fadenknäuel, 2 und 3 ältere Kerne mit getrennten Chromatinkörperchen, 4 alter Kern mit lockerem Kerngerüste und sparsamen Chromatinkörperchen, 5 Stück eines Gerüstfadens mit deutlichen Chromatinscheibchen, 6 sehr alter Kern, 7 Kernkörperchen aus dem Kerne einer jungen Kartoffelfrucht. Vergr. Fig. 1 bis 4 u. 6 = 1 : 1000, Fig. 5 u. 7 = 1 : 1500.

Figur III (S. 35). 1 Kerne aus dem Parenchym von Syringa vulgaris mit je einem Krystalloid, 2 Kerne aus dem Schwammgewebe des Blattes von Forsythia suspensa mit einem bis mehreren Krystalloiden, 3 Kern aus der Fruchtknotenwandung von Melampyrum pratense mit zahlreichen Krystalloiden. Vergr. 1 : 800 (nach Zimmermann).

Figur IV (S. 44). Zwei Weisskörperchen (Leucoplasten) aus einer Oberhautzelle der Blattoberfläche von Tradescantia discolor. Vergr. 1 : 1450 (nach Zimmermann).

Figur V (S. 47). 1 bis 3 Chlorophyllkörper aus dem Blatte von Plectogyne variegata mit deutlichen Grana, 4 desgleichen mit dicht gedrängten Grana aus dem Blatte von Mnium undulatum. Vergr. 1 : 1500.

Figur VI (S. 48). 1a und b Chlorophyllkörper aus dem Blatte von Fittonia Verschaffelti mit 10 proc. Kochsalzlösung behandelt, 2 desgleichen. Verletztes Chlorophyllkorn mit 10 proc. Kochsalzlösung behandelt, und zwar b nach 24 stündiger Einwirkung, 3 desgleichen aus Fittonia Verschaffelti mit 0,2 proc. Essigsäure behandelt, 4 ein Chlorophyllkorn aus Tradescantia virginica einige Zeit in 20 proc. Zuckerlösung liegend beobachtet, 5 Chlorophyllkörper aus Plectogyne variegata. Quellung in 10 proc. Kochsalzlösung mit nachträglicher Fixirung durch Jodkalium. Die dunkleren Punkte sind Stärkeeinschlüsse. Vergr. 1 : 1450 (nach Schwarz).

Figur VII (S. 59). Farbstoffkrystall aus der Wurzel der Möhre unter Einschaltung eines Nicol'schen Prismas beobachtet, um den Pleochroismus zu zeigen.

Figur VIII (S. 79). Zelle aus dem unteren Blattparenchym von Tradescantia albiflora mit alkoholischer Pikrinsäure gehärtet und mit Säurefuchsin

Digitized by Google

(nach Altmann) gefärbt. *gg* die Granula, *ch* die Chlorophyllkörper. Vergr. 1 : 800 (nach Zimmermann).

Figur IX (S. 89 u. f.). a und b zwei Stärkekörner aus der Kartoffelfrucht in polarisirtem Lichte bei eingeschaltetem Gypsplättchen Roth I. Ordn. Vergr. 1 : 750.

Figur X (S. 96). Ein Inulin-Sphärokrystall aus dem Parenchym der Knolle von Helianthus tuberosus in polarisirtem Lichte bei Einschaltung eines Gypsplättchens Roth I. Ordn. Vergr. 1 : 750.

Figur XI (S. 108). Einige Zellen aus dem Blatte von Thunbergia alata mit gelöstem hellblauem Farbstoffe und dunkelblauen, zum Theil in Häufchen angesammelten Farbstoffkörpern. (Nach Fritsch.)

Figur XII (S. 108). Zwei Zellen aus dem Fruchtfleische von Viburnum Tinus mit dunkelblauen Farbstoffkörnern. (Nach Fritsch.)

Tafel II.

Figur XIII (S. 98). Querschnitt aus dem Parenchym der Wurzel von Symphytum officinale, mit Rutheniumroth behandelt, welches die Zellwände und den Schleim gefärbt hat. Vergr. 1 : 400.

Figur XIV (S. 200). Querschnitt aus einem jungen Zweige von Nerium Oleander, mit einem Gemisch von Thallin und Phenol behandelt. *B* Bast, *C* Cambialregion, H^1 junges Holz, H^2 bis H^4 zunehmend ältere Holzlagen, *M* Mark. Vergr. 1 : 450.

Figur XV (S. 219). Theil eines Querschnittes durch Holz, Cambium und Bast von Pinus strobus zur Zeit der eben begonnenen Vegetation. Es haben sich wenig Holz- und Bastzellen gebildet und die Cambiumzellen sind in der Theilung begriffen. *B* Bast, *C* Cambiumzellen, *H* Holz, H^1 noch zu Holz und Bast übergetretene unverholzte Zelle, *p* primäre Zellstoffhülle, *z* die Zwischenmasse. Vergr. 1 : 400.

Figur XVI (S. 219). Theil eines Querschnittes durch die in vollem Wachsthum begriffene Wurzel von Pinus strobus mit der fortschreitenden Verholzung von Zellstoff und Intercellularsubstanz nach der Behandlung mit Jodlösung und Schwefelsäure; *i* Intercellularsubstanz, die übrige Bezeichnung wie Figur XV. Vergr. 1 : 670.

Figur XVII (S. 317). 1 Querschnitt durch die Oberhaut von Allium officinale nach der Behandlung mit Jod und Schwefelsäure. *c* Cuticula, *s* secundäre Verdickungsschichten, *t* Innenwand („tertiäre Wandschicht"). Vergr. 1 : 336. 2 Querschnitt durch die Oberhaut von Rumex acetosa nach der Behandlung mit Chlorzinkjodlösung. Die Cuticularmetamorphose hat sich keilförmig eine Strecke weit in die Intercellularsubstanz fortgesetzt. Bezeichnung wie 1. Vergr. 1 : 528.

Figur XVIII (S. 318). Erste Modification der Cuticularmetamorphose. 1 Querschnitt durch die Oberhaut des Blattes von Helleborus viridis nach der Behandlung mit Jod und Schwefelsäure. *i* Intercellularraum, *x* eigenthümlich kantig vorspringende Partie der primären Zellwand *p*; sonstige Bezeichnung wie Figur XVII, 1. Vergr. 1 : 528. 2 Querschnitt durch die Oberhaut des Blattes von Crinum capense nach der Behandlung mit Jod und Schwefelsäure. *c* Cuticula, *Cs* Cuticularschichten, welche die primäre Zellwand *p* und den älteren Theil der secundären Verdickung umfassen; *s* nicht cuticularisirte, jüngere secundäre Zellstoffschichten, *t* Innenwand. Vergr. 1 : 536. 3 Querschnitt durch die Oberhaut des Stengels von Asparagus officinalis nach der Behandlung

Digitized by Google

mit Chlorzinkjodlösung. Bezeichnung wie in 1. Vergr. 1 : 336. 4 Querschnitt durch die Blattoberhaut von Pleurothallus nach der Behandlung mit Jod und Schwefelsäure. *c* Cuticula, *Cs* sämmtliche secundären Verdickungsschichten umfassende Cuticularschichten, in denen die primäre Wandung nur noch angedeutet erscheint, *t* Innenwand. Vergr. 1 : 536. 5 Querschnitt durch die Blattoberhaut von Urostigma elasticum nach der Behandlung mit Jod und Schwefelsäure. Bezeichnung wie in 4. Die Innenwand ist durch längere Einwirkung stark aufgequollen. Vergr. 1 : 336. 6 Querschnitt durch die Oberhaut des Blattnerven von Nerium Oleander nach der Behandlung mit Jod und Schwefelsäure. *c* Cuticula; *Cs* Cuticularschichten, welche in zwei Partien *1* und *2* zerfallen, von denen die äussere völlig structurlos erscheint, während man in der inneren, die häufig nur verholzt und nicht verkorkt, die einzelnen Schichten erkennen kann; *t* Innenwand. Vergr. 1 : 640.

Figur XIX (S. 319). Zweite Modification der Cuticularmetamorphose. 1 Querschnitt durch die Oberhaut des Blattstieles von Nerium Oleander nach der Behandlung mit Jod und Schwefelsäure. *c* Cuticula; *Cs* Cuticularschichten, von denen die primäre Zellwand und die älteren Schichten *1* der secundären Verdickung derart verschmolzen sind, dass sie eine structurlose Masse bilden, während in der weniger stark verkorkten jüngeren secundären Verdickung *2* die einzelnen Schichten noch zu erkennen sind; *t* Innenwand; *p* primäre Zellwand, die bis in die Mitte der Seitenwand der Metamorphose anheimgefallen ist. Vergr. 1 : 640. 2 Querschnitt aus der Oberhaut des Stengels von Ruscus racemosus nach längerer Einwirkung von Jod und Schwefelsäure. Bezeichnung wie in 1. Die differenten jüngeren secundären Schichten wiegen bedeutend gegen die älteren vor. Vergr. 1 : 536. 3 Querschnitt aus der Oberhaut des Blattes von Gasteria verrucosa nach längerer Einwirkung von Chlorzinkjodlösung. *c* Cuticula; *Cs* Cuticularschichten, bestehend aus der primären Zellwand und einem Theile der secundären Verdickungsschichten, von denen die älteren, heller gefärbten *1* vollständig cuticularisirt, die jüngeren, dunkler gefärbten *2* dagegen nur verholzt erscheinen*); *s* nicht metamorphosirte jüngste secundäre Schichten; *t* Innenwand. Vergr. 1 : 536.

Figur XX (S. 319). Dritte Modification der Cuticularmetamorphose. Querschnitt durch die Oberhaut eines jüngeren Internodiums von Viscum album. *c* Cuticula; *Cs* Cuticularschichten, welche hier sämmtliche Wandschichten der oberen Zellenhälfte umfassen; *p* primäre Zellwand. Vergr. 1 : 336.

Figur XXI (S. 319). Vierte Modification der Cuticularmetamorphose. 1 Querschnitt durch die Oberhaut von Ephedra distachya nach der Behandlung mit Jod und Schwefelsäure. *c* Cuticula; *p* primäre Zellwand auf der Grenze der Zellen im ganzen Umfange cuticularisirt, in der äusseren Partie nur angedeutet. *Cs* Cuticularschichten, von denen die jüngeren, sich durch hellere Färbung auszeichnenden, seitlich mit der sich hier gleich färbenden primären Wand verschmolzen erscheinen; *t* Innenwand; *B* unter der Oberhaut liegende, sich violett färbende Bastzellen. 2 Querschnitt durch die Oberhaut der oberen Blattseite von Cycas revoluta nach längerer (24stündiger) Einwirkung von Chlorzinklösung. *c* Cuticula; *Cs* Cuticularschichten, von denen die älteren *1* völlig structurlos erscheinen, während bei den jungen *2*, hier nur verholzten, die Structur angedeutet ist; *s* allseitig entwickelte jüngste secundäre, nicht umgewandelte Verdickungsschichten, welche von Poren-

*) Die Färbung ist leider nicht entsprechend ausgeführt.

Digitized by Google

canälen durchsetzt erscheinen; *p* primäre Zellwand, *t* Innenwand. 3 Ein ähnliches Präparat mit sonst dem obigen gleichen, nur darin abweichendem Verhalten, dass die (hier vollständig verkorkt gewesenen) Cuticularschichten durch eine innerste, sich durch hellere Färbung auszeichnende Schicht (*3*) abgeschlossen werden. 4 Querschnitt durch die Oberhaut der unteren Blattfläche nach 24stündiger Einwirkung von Chlorzinkjodlösung. Bezeichnung wie in 3. 5 Querschnitt durch die Oberhaut des Wedelstieles, ebenso behandelt wie 2 bis 4. Das Verhalten schliesst sich dem des Präparates unter 2 an. Es sind indessen die starken, allseitig abgelagerten jüngeren Verdickungsschichten *s* und die Innenwand *t* schon etwas verholzt, so dass die violette Färbung nur schmutzig und schwach erscheint, und wir hier gleichsam eine Uebergangsstufe zu der nächsten Modification haben. 6 Querschnitt aus der Oberhaut eines jungen Internodiums von Chamaedorea gracilis nach längerer Dauer der Einwirkung von Chlorzinkjodlösung. *c* Cuticula; *Cs* Cuticularschichten, die primäre Zellwand *p* nebst sämmtlichen, nicht cuticularisirten, sondern verholzten secundären Verdickungsschichten umfassend, von denen die jüngsten, allseitig entwickelten, sich ebenso wie die primäre Wand durch hellere Färbung unterscheiden; *t* Innenwand; *P* Porencanäle. Vergr. 1 bis 6 = 1 : 640.

Figur XXII (S. 319). Fünfte Modification der Cuticularmetamorphose. 1 Querschnitt durch das Nadelblatt von Pinus silvestris nach längerer Einwirkung von Jod und Schwefelsäure. *c* Cuticula; *Cs* die sämmtliche Wandschichten umfassenden Cuticularschichten, von denen nur die primäre Zellwand cuticularisirt ist, die übrigen Schichten aber nur verholzt erscheinen; *P* Porencanäle; *R* nicht umgewandelte Rindenzellen. Vergr. 1 : 640. 2 Querschnitt durch die Oberhaut eines älteren Internodiums von Viscum album nach längerer Einwirkung von Jod und Schwefelsäure. *c* Cuticula; *Cs* sämmtliche Wandschichten umfassende Cuticularschichten; *Co* von der Cuticularmetamorphose ergriffene Collenchymzelle. Vergr. 1 : 640. 3 Querschnitt durch die Oberhaut eines älteren Internodiums von Urostigma elasticum nach der Behandlung mit Jod und Schwefelsäure. *c* Cuticula; *Cs* Cuticularschichten, die primäre Zellwand, secundäre, structurlos gewordene Verdickung, sowie die Innenwand umfassend; *Co* Collenchymzellenreihe, welche das Korkgewebe von dem Oberhautgewebe scheidet. Vergr. 1 : 640.

Tafel III.

Figur XXIII (S. 321 u. f.). 1 Theil eines Querschnittes durch das Blatt von Dasylirium serratifolium bei a unter Wasser, bei b unter Jod und Schwefelsäure beobachtet, *c* Cuticula, *p* älteste Zellstoffschichten, *s* secundäre Cuticularschichten, *t* Innenwand, *sp* Spaltöffnung und darunter liegende Luftlücke. 2 Ein ähnliches Präparat in Aetzkalilauge erwärmt. Die Cuticula *cc* theilweise gelöst und dadurch deren Volumen bedeutend vergrössert; hier und da sieht man, wie sich die Cuticula als Intercellularsubstanz zwischen die inneren, stark aufgeschwollenen Cuticularschichten *ss* hineinzieht, während sie weiter nach innen schon gelöst erscheint; *t* Innenwand. 3 Aehnliches Präparat nach längerer Einwirkung der Kalilauge, so dass die Cuticula theilweise vollständig gelöst und die Oberhautzellen getrennt erscheinen. Vergr. 1 bis 3 = 1 : 536.

Figur XXIV (S. 321 u. f.). 1 Theil eines Querschnittes durch die Oberhaut des Blüthenschaftes von Aloe succotrina mit stark entwickelter Cuticula

Digitized by Google

cc und nicht cuticularisirten Verdickungsschichten *ss*. Rechtsseitig unter Wasser betrachtet, linksseitig nach der Behandlung mit Chlorzinkjodlösung; *sp* Spaltöffnung mit der darunter liegenden Luftlücke. Vergr. 1 : 536. 2 Aehnliches Präparat nach der Erwärmung in Aetzkalilauge. Vergr. 1 : 536. Die durch das Reagens hervorgerufenen Erscheinungen sind hier ganz dieselben wie in der Figur XXIII, 3. 3 Desgleichen unter Chlorzinkjodlösung betrachtet. Vergr. 1 : 536. 4 Theil eines Querschnittes durch das Blatt von Dasylirium serratifolium nach kürzerer Behandlung mit Aetzkalilauge in der Wärme unter Chlorzinkjodlösung betrachtet. Die in Auflösung begriffene Cuticula *cc* nimmt eine hell schmutziggelbe Farbe an, während sämmtliche Zellstoffschichten mehr oder minder rein violett werden. Vergr. 1 : 536.

Digitized by Google

Alphabetisches Sachregister und Figurenverzeichniss des zweiten Theiles.

A.

Abies pectinata, Harzgänge 542 u. f., Fig. 380.
— —, Hofporen 184, Figur 113, II.
— —, Holz 425, Fig. 288; 436, Fig. 298, I; 437, Fig. 299, II.
— —, Holzfasern in polarisirtem Lichte 265, Fig. 172, III.
— —, Querschnitt durch das Wurzelholz 483, Fig. 334.
— —, Verzweigte Zellen 125, Fig. 63, III.
Absorptionsspectren des Chlorophylles und der Blüthenfarbstoffe 55, Fig. 26; 62, Fig. 31; 106, Fig. 52.
Acacia lophanta, Parenchym 300, Fig. 197, I.
— —, Zellenformen des Markes 124, Fig. 62, II.
Acer campestre, Kork 339, Fig. 227, I.
— Pseudoplatanus, Kalkkörper 118, Fig. 59, IV.
— —, Strahlengewebe 420, Fig. 283.
— rubrum, Kalkkörper 118, Fig. 59, III.
Achnanthes subsessilis, Pyrenoide 52, Fig. 25, IV.
Achsenorgane 445.
Adonis aestivalis, Blumenblatt, Absorptionsspectrum 62, Fig 31, II.
Aequatorialplatte 595.
Aesculus Hippocastanum, Krystalle 112, Fig. 56, I.
Aetherisches Oel 107.
Aethusa Cynapium, Proteïnkörner 71, Fig. 37, VI.
Albumenzellen 169 u. f.
Alectorolophus major, Zellkern 35, Fig. 15, V.
Aleuron 67 u. f.
Algen 420.
—, Entstehung d. Schwärmsporen 608.
—, Zelltheilung 616.
Alisma Plantago, Gefässbündel 379, Fig. 253.
Allium Cepa, Krystalle der Zwiebelschalen 111, Fig. 55, I.
— —, Zellkern 31, Fig. 13, I; Taf. I, Fig. II, 1—6.
— officinale, Oberhaut, Querschnitt 317; Taf. II, Fig. XVII, I.
Aloe u. s. w., Parenchymzellen, Ellipsoiddurchschnitte 249, Fig. 161; 251, Fig. 163.
— retusa, Raphiden 110, Fig. 54, III.
— succotrina, Oberhaut 315 u. f., Fig. 208, I; Taf. III, Fig. XXIV, 1—3.
— —, Parenchymzellen, optisches Verhalten 250, Fig. 162.
— verrucosa, Buntkörper 58, Fig. 28, I.
Alpinia nutans, Gefässbündel 373, Fig. 247.
Alsophila australis, Bau d. Wurzel 476, Fig. 329.
Alternanthera brasiliensis, Haar 332, Fig. 217, III.
Althaea rosea, Pollenkorn 195, Fig. 121, III.
— —, Verdickung der Zellwand durch Schleim 188.
Amitose 591, 602.
Amomum Cardamomum, Weisskörper 43, Fig. 19, I.
Amphipyrenin 38.
Amsinckia intermedia, Buntkörper 58 Fig. 28, III.
Amsonia latifolia, Bastfaser 259, Fig. 169.
Amylodextrin 92.
Amylum 79 u. f.
Ananassa sativa, Oberhautzellen 130, Fig. 67, III.
Anaphase (Strasburger) 596.
Anaplasten (Meyer) 41.
Angelica silvestris, Basttheil 440, Fig. 302; 541, Fig. 379.
Anhangsorgane der Oberhaut 330.
Anona laevigata, zerstörte Holzfasern 262, Fig. 170, II.
Antherenwand, Spiralzellen der 149.

Digitized by Google

Anthericum Liliago, Entstehung der Pollenmutterzellen 630, Fig. 430, I.
Anthoceros laevis, Chlorophyllkörper 45, Fig. 20, VI.
— —, Sporen 124, Fig. 62, III.
Anthochlor 106.
Anthocyan 105.
Anthoxanthin 61.
Apposition 135.
Aralia trifoliata, Bau des Blattes 509, Fig. 353.
Araucaria brasiliensis, Bau des Blattes 497, Fig. 345.
— —, Siebröhre 286, Fig. 188, IV.
Archegonium, Zellbildung in dem, der Farne 612.
—, Zellbild. in dem, der Moose 612.
—, „ „ „ „ Schachtelhalme 612.
Aristolochia Sipho, Gefässbündelanlage 534.
Arthropodium cirrhatum, Spaltöffnungen 324, Fig. 211.
— — —, Entstehung der 515, Fig. 357; 516, Fig. 360.
Arum maculatum, Oberhautzellen 130, Fig. 67, I.
Arundo Donax, ringförmig verdickte Zellen 148, Fig. 81, III.
Asci, Sporenbildung in den 609.
Asclepias currasavica, Milchröhren 291, Fig. 192, I.
— syriaca, Bastfasern 151, Fig. 83, II und III; 161, Fig. 89, II und III; 258, Fig. 168, I.
Asparagin 102.
—, Krystallformen 103, Fig. 50.
Asparagus officinalis, Cuticula 318; Taf. II, Fig. XVIII, 3.
— —, Gefässbündel 377, Fig. 251.
Aspidistra elatior, Wurzelhaube 485, Fig. 336.
Aspidium filix mas, Gefässbündelanlage 529, Fig. 371.
Asplenium Nidus, Bau des Blattes 490, Fig. 340.
— —, Oberhautzellen 126 u. f., Fig. 64, I b.
— —, Schwammparenchym 301, Fig. 198, II.
— —, Zellenformen des Blattparenchymes 125, Fig. 63, I.
Asteroid 594.
Athemhöhle 324.
Atropa Belladonna, Markbündel 306, Fig. 201.
Attractionssphären 64.
Aussenrinde 311.
— der Bärlappe 457.
— „ Dikotyledonen 468.
— „ Farne 459.
— „ Monokotyledonen 463.
Aussenrinde der Schachtelhalme 452.
Autoplasten (Meyer) 45.
Avena sativa, Stärkekörner 82, Fig. 42, III.

B.

Bärlappe, Bau des Blattes 489.
— „ „ Stengels 457.
Balsamina hortensis, gegitterte Poren 181, Fig. 111.
— —, Röhrenzellen 275, Fig. 177, I; 276, Fig. 178, II u. III.
— —, rosenkranzförmig verdickte Röhrenzellen 148, Fig. 81, V.
Basella alba, Chlorophyllkörper 50, Fig. 23, III.
Bastfasern 255, 258.
—, Streifung etc. 258.
—, Verhalten zum polarisirten Licht 269 u. f.
Bastgefässe 282.
—, Verhalten zum polarisirten Licht 295.
Bastparenchym siehe Basttheil.
Basttheil des Gefässbündels, Entstehung, siehe Gefässbündel.
Basttheil des Gefässbündels der Bärlappe 358.
— — der Dikotyledonen 383 u. f., 406.
— — „ Farne 362.
— — „ Gymnospermen 429.
— — „ Monokotyledonen 368 u. f.
— — „ Rhizocarpeen 365.
— — „ Schachtelhalme 355.
Begonia (Gartenvarietät), Bastzelle 142, Fig. 79, III.
— heracleifolia, Krystalle 110, Fig. 54, I, II a.
— spec., Bastparenchymzelle 128, Fig. 65, II und III.
— —, Bastzelle, optisches Verhalten 270, Fig. 174, I; 271, Fig. 175, I.
— zebrina, Bau des Blattes 511, Fig. 355.
Begonie, Blüthenstielzelle aus einer 131, Fig. 68, IV.
Behöfte Poren 183 u. f.
Bertholletia excelsa, Globoide 72, Fig. 38, II.
— —, Krystalloide 76, Fig. 40, III.
— —, Proteïnkörner 68, Fig. 34, VII.
Beta trigyna, Stärkekörner 82, Fig. 42, IV.
Betula alba, Bast 407, Fig. 274.
— —, Gefässwand, Durchbrechung 274, Fig. 176, III.
— —, Holz 401, Fig. 270.
— —, Kork 339, Fig. 227, II.
— — —, Verhalten in polarisirtem Lichte 205, Fig. 129 B.

Bewegung des Protoplasmas 16.
Bignonia, brasilianische, Krystalle 113, Fig. 56, VII.
—, Querschnitt des Stammes 472, Fig. 327, I.
— radicans, spindelförmige Bastzelle 128, Fig. 65, IV.
— spec., Siebröhren 283, Fig. 186, III.
Bildungsgewebe 297.
Binnenkork 341.
Binnenströmchen des Protoplasmas 19.
—, Entstehung der 21.
Birke siehe Betula.
Blatt, Bau des, der Bärlappe 489.
—, „ „ „ Cycadeen 491.
—, „ „ „ Dikotyledonen 507.
—, „ „ „ Farne 490.
—, „ „ „ Monokotyledonen 501.
—, „ „ „ Moose 486.
—, „ „ „ Nadelhölzer 495.
—, „ „ „ Schachtelhalme 488.
Blattgrün 45 u. f.
—, Absorptionsspectren 55, Fig. 26.
Blattrinde siehe oben.
Boehmeria argentea, Gefässbündelentwickelung 535, Fig. 374.
Bohnenstärke 80, Fig. 41, II.
Borke 341.
— der Laubhölzer 342.
— „ Nadelhölzer 343.
Borsten 332.
Bracheïden (Tschirch) 232.
Brachysklereïden 232, 309.
Brennhaare 332.
Bromelia spec., Bau des Blattes 502, Fig. 348.
Bryonia alba, Gefässbündel 384, Fig. 258.
— —, Siebröhren 182, Fig. 112, I und IV; 283, Fig. 186, I.
— —, Bau des Stengels 470, Fig. 325.
— dioica, Buntkörper 57, Fig. 27, I.
Bryopsis plumosa, Pyrenoide 52, Fig. 25, I und II.
Buche, Strahlengewebe 420, Fig. 282.
— s. a. Fagus silvatica.
Bündelstrahlen 418 u. f., 435 u. f.
Buntkörper 56.
—, Bau 57.
—, chemische Beschaffenheit 61.
—, Einschlüsse 60.
—, Spectrum 61.
—, Verbreitung u. Gestalt 56.
Butomus umbellatus, sternförmige Zellen 126, Fig. 64, II.

C.

Calamus Rotang, Gefässbündel 376, Fig. 250.
Calciumcarbonat 118.
Calciumoxalat 109.
Calciumoxalat, Krystallformen 109.
—, mikrochemisches Verhalten 112.
—, Verhalten im polaris. Lichte 114.
Calciumsulfat 119.
Calciumtartrat 119.
Calla aethiopica, Collenchymzelle 131, Fig. 68, III.
Callose 10.
Callus 181, 287.
Cambialwand, chemische Umbildung der 207, 570 u. f.
—, Verhalten 10.
Cambiform 353, 368.
Cambium des Gefässbündels 353, 368, 389, 528 u. f., 532 u. f.
—, Zelltheilung in dem 632.
Cambiumbündel 533 u. f.
Cambiumring 533 u. f.
Campanula Trachelium, Zellkerne 35, Fig. 15, IV.
Canna gigantea, Chlorophyllkörper 51, Fig. 24, III.
— indica, Stärkekörner 88, Fig. 45, II.
— spec., Stärkekörner 84, Fig. 44, II.
— Warszewiczii, Weisskörper 43, Fig. 19, III.
Carex arenaria, Gefässbündel 381, Fig. 255.
Carica microcarpa, Holz 400, Fig. 269.
— —, Milchröhren 128, Fig. 65, VII.
— —, Röhrenzellen 277, Fig. 180, II.
Carotin 61.
Caryota urens, Bastfasern 134, Fig. 70, II; 135, Fig. 71.
— —, Bastzelle, optisches Verhalten 270, Fig. 174, II; 271, Fig. 175, II.
— —, Kieselkörper 121, Fig. 61, III.
Caulerpa clavifera, Wandschichten 137, Fig. 75.
— perpusilla, Wandschichten 138, Fig. 76.
— prolifera, Stengelquerschnitt 132, Fig. 69, II.
— —, Verdickungsschichten 136 u. f., Fig. 72—74 und 77.
— —, Wandschichten 132, Fig. 69, II; 136 u. f., Fig. 72—74.
— —, Wandschichten, Verhalten gegen polarisirtes Licht 138, Fig. 77.
—, Zellen, Ellipsoiddurchschnitte 240, Fig. 153; 241, Fig. 154.
Caulotretus, Querschnitt des Stammes 472, Fig. 327, IV.
Cellulose, Reactionen 7.
Centralkörper (Centrosphären) 64.
Cephalotaxus Fortunei, Bau d. Blattes 496, Fig. 344.
Cereus speciosus, Bastfasern 415, Fig. 280, I B, II A, B.
Cerinsäure 204.
Cerinthe glabra, Chlorophyllkörper 51, Fig. 24, II.

Digitized by Google

Cerotozamia mexicana, Bau d. Blattes 493, Fig. 342.
Cestrum aurantiacum, Röhrenzellen 281, Fig. 184 II.
Chamaedorea gracilis, Bau d. Stammes 464, Fig. 322.
— —, Cuticula, 319, Taf. II, Fig. XXI, 6.
Chelidonium majus, Gefässbündel 386, Fig. 259.
— —, Haarzelle mit Binnenströmchen 20, Fig. 10.
— —, Milchröhre 288, Fig. 189.
Chloroleuciten (van Tieghem und Courchet) 45.
—, chemisches Verhalten 53.
—, Einschlüsse 47.
—, innerer Bau 46.
Chlorophyll, Formverhältnisse 45.
Chlorophyllfarbstoff 53.
— Absorptionsspectren 54, 55, Fig. 26.
— gelber 54.
— grüner 53.
Chlorophyllkörper 45.
Chloroplasten (Schimper) 45.
Chloroplastin 53.
Chromatin 37.
Chromatophoren (Schmitz) 41.
Chromosome 593.
Chrysanthemum phoeniceum, Buntkörper 60, Fig. 29, II.
Cichorium intybus, Inulinsphärokrystalle 94, Fig. 47, I.
Circulation des Protoplasmas 19.
Cissus antarcticus, Bau d. Blattes 512, Fig. 356.
Citrus Aurantium, Krystalle 113, Fig. 56, VI.
Cladophora fracta, Fadenzellen, Ellipsoiddurchschnitte 238, Fig. 151.
— —, Theilungsfolgen 624, Fig. 428.
— —, Zellkerne 30, Fig. 12, III.
— glomerata, Verdickte Zelle 237, Fig. 150, II.
— —, Zelltheilung 623, Fig. 427.
Clematis vitalba, Aussenrinde 313, Fig. 207.
— —, Entwickelung der Gefässbündel 533, Fig. 373.
— —, Entwickelung d. Wandverdickung 552 u. f., Fig. 386 bis 391.
— —, Kork 342, Fig. 229; 521, Fig. 365.
— —, Mark 304, Fig. 200, III.
— —, Markparenchymzelle, optisches Verhalten 245, Fig. 157.
— —, Markzelle, Ellipsoiddurchschnitte 246, Fig. 158; 247, Fig. 159.
— — —, junge, in polarisirtem Lichte 5, Fig. 4; Taf. I, Fig. I.
— — —, Querschnitt 129, Fig. 66; 134, Fig. 70, III.
— —, Verdickung der Markzellen 142, Fig. 79, I; 144, Fig. 80, I.
Climatium dendroides, rudimentäres Gefässbündel 349, Fig. 234.
Colchicum autumnale, Weisskörper 43, Fig. 19, II.
Collenchym 311.
Collenchymzellen, Verdickung 131.
Commelyna coelestis, Spaltöffnungen 515, Fig. 358.
Condollea adnata, Zellkerne 35, Fig. 15, III.
Conferva Melagonium, Gliederzelle in polarisirtem Lichte 237, Fig. 150, III.
— —, Zelle, Ellipsoiddurchschnitte 239, Fig. 152.
Coniferen, Bau d. Bastes 430, Fig. 293 bis 297.
—, Bau des Blattes 495.
—, „ „ Holzes 424, Fig. 287 bis 290.
Coniferin 197.
Convolvulus althaeoides, Pollenkorn 195, Fig. 121, II.
Copulation 638.
— der Algen 638.
Corallina officinalis, Verdickte Zelle in polarisirtem Lichte 237, Fig. 150, I.
Coriandrum sativum, Proteïnkörner 68, Fig. 34, V.
Corylus Avellana, Strahlengewebe 421, Fig. 285, II.
Cotinus Coccygea, Milchsaftgang 308, Fig. 203.
Crinum capense, Cuticula 318; Taf. II, Fig. XVIII, 2.
Cucurbita Pepo, Behöfte Poren 184, Fig. 113, IV.
— —, Entstehung der Pollenmutterzellen 633 u. f., Fig. 431.
— —, Holzzelle, verzweigte 128, Fig. 65, V.
— —, Pollenkorn 195, Fig. 121, I.
— — —, Entstehung 614, Fig. 422.
— —, Röhrenzellen 277, Fig. 180, I.
— —, Siebröhren 182, Fig. 112, II; 284, Fig. 187, I.
— —, Spiralfaserzellen 149, Fig. 82, I.
Curcuma, Stärkekörner 80, Fig. 41, V.
Cuticula 207, 317.
—, chemisches Verhalten 321 u. f.
Cuticularmetamorphose 318.
Cuticularschichten 318.
—, Verhalten zum polaris. Licht 333.
Cyathea incana, Bau d. Stammes 461, Fig. 318.
— —, Röhrenzellen, optisches Verhalten 294, Fig. 195, II.
— medullaris, Siebröhre 286, Fig. 188, III.
Cycas revoluta, Bau des Blattes 491, Fig. 341.
— —, Blattstielparenchym 201, Fig. 126; 228, Fig. 145.

Cycas revoluta, Cuticula 319, Taf. II, Fig. XXI, 2—5.
— —, Holz 422, Fig. 286.
— —, Holzfasern in polarisirtem Lichte 265, Fig. 172, I.
— —, Intercellularsubstanz 220, Fig. 140, I.
— —, Krystalle 112, Fig. 56, IV.
— —, Parenchymzellen 131, Fig. 68, II.
— —, Spaltöffnung 328, Fig. 215, III.
— spec., Strahlengewebe 437, Fig. 299, I.
Cynanchum vincetoxicum, Bastfasern 154, Fig. 85; 258, Fig. 168, II.
Cynara scolymus, Globoide 72, Fig. 38, I.
— —, Proteïnkörner 69 u. f., Fig. 35, Fig. 36, III.
Cyperus alternifolius, Parenchym 300, Fig. 197, II.
Cystolithen 133.
Cytoblast (= Zellkern) 9.
Cytoplasma (Strasburger) 14.

D.

Dahlia variabilis, Inulinsphärokrystalle 94, Fig. 47, II.
— —, Röhrenzellen 276, Fig. 178, I und IV.
— — —, optisches Verhalten 292, Fig. 194, II.
Dasylirion acrotriche, Bau des Blattes 507, Fig. 352.
— serratifolium, Cuticula 321, Taf. III, Fig. XXIII, 1—3, XXIV, 4.
— spec., Spaltöffnung 329, Fig. 215, V.
Datura (Brugmansia) suaveolens, Bastfaser 415, Fig. 280, II C.
— — —, Gefassbündel 412, Fig. 278.
— — —, Röhrenzellen 279, Fig. 182, II.
Daucus Carota, Farbstoffkörper 57, Fig. 27, VI.
Dauergewebe 297.
Delphinium Consolida, Farbstoffkörner 108, Fig. 53, I.
Dermatogen 314.
Desmanthus plenus, Gerbstoffblase 99, Fig. 49.
Deutzia scabra, Blatthaar 126, Fig. 64, III; 331, Fig. 217, II.
Dextrin 97.
Diaster 596.
Dickenwachsthum 391, 534.
Dictamnus fraxinella, Oeldrüse 527, Fig. 370.
Dieffenbachia seguina, Stärkekörner 80, Fig. 41, VI.
Dikotyledonen, Bau des Blattes 507.
—, Bau des Stammes 467.
—, „ der Wurzel 481.
—, Gefässbündel 382.
Dion edule, Bast 429, Fig. 292.
— —, Bau des Blattes 494, Fig. 343.
Dispirem 596.
Dracaena Draco, Gefässbündel 380, Fig. 254.
— —, Bau des Stammes 465, Fig. 323.
Drapernaldia distans, Chlorophyllkörper 45, Fig. 20, III.
Drüsenhaare 331.

E.

Eiweiss, Reaction 25 u. f.
Eiweisskrystalle (= Proteïnkryst.) 73.
Elaeagnus angustifolia, Blattschuppen 333, Fig. 220.
Elaioplasten 62.
Elektricität, Einwirkung auf die Protoplasmaströmchen 24.
Elfenbeinnuss, Zellen des Sameneiweiss 166, 170 u. f.
Embryosack, Kerntheilung in dessen Wandprotoplasma 592.
—, Vielzellbildung in demselben 606.
Enchylema 15.
Endodermis (= Gefässbündelscheide).
Endospermzellen, Theilung 632.
Ephedra, Strahlengewebe 438, Fig. 299, IV.
— distachya, Cuticula 319; Taf. II, Fig. XXI, 1.
— —, Gefässwand, Durchbrechung 274, Fig. 176, I.
— —, Rinde 311, Fig. 205.
— monostachya, Bast 432, Fig. 295.
— —, Holz 428, Fig. 291.
Epidermis (= Oberhaut).
Equisetum arvense, limosum, silvaticum, Bau des Stengels 452 u. f., Fig. 310 bis 313.
— —, Buntkörper 58, Fig. 28, II.
— —, Parenchymzellen, optisches Verhalten 243, Fig. 155.
— hiemale, Gefässbündel 354, Fig. 236.
— limosum, Bau der Wurzel 474, Fig. 328.
Erbse, Stärkekörner 89, Fig. 46, V.
— s. a. Pisum sativum.
Erysiphe communis, Entstehung der Ascosporen 610, Fig. 420.
Erythrina Crista-galli, behöfte Poren 186, Fig. 114.
— spec., Holz 398, Fig. 267, II.
Euastrum crux militensis, Zellform 126, Fig. 64, IV.
Eucalyptus globosus, Bau d. Blattes 510, Fig. 354.
Euphorbia, Bastfaser 415, Fig. 280, I A.
— cyparissias, Milchröhren 291, Fig. 192, II.

Digitized by Google

Euphorbia Esula, Bastzelle 254, Fig. 165.
— splendens, Milchröhren 291, Fig. 193.
— —, Stärkekörner 80, Fig. 41, IX.
Evonymus japonicus, Spaltöffnungen 327, Fig. 214, III.

F.

Fagus silvatica, Bast 408, Fig. 275; 413, Fig. 279.
— —, Holzkörper 399, Fig. 268.
— —, Mark 304, Fig. 200, I.
— —, Siebröhren 283, Fig. 186, IV; 284, Fig. 187, II.
— —, Strahlengewebe 420, Fig. 282.
— —, zerstörte Holzfasern 262, Fig. 170, I.
Farbstoffe, Absorptionsspectra 106.
—, gelöste 105.
Farbstoffkörner 108.
Farbstoffkrystalle 57.
—, Pleochroismus der 57.
Farnkräuter, Bau des Blattes 490.
—, Bau des Stammes 459.
—, „ der Wurzel 476.
—, Gefässbündel 359.
Faserzellen 253.
—, chem. Verhalten der Zellwand 260.
—, Structur der Zellwand 255.
—, Verhalten zum polarisirten Licht 264 u. f.
—, Zerstörung d. Verdickungsschichten durch Pilze 263.
Faserzellenbündel der Farne 460.
— der Monokotyledonen 463.
— „ Rhizocarpeen 462.
Fegatella conica, Schleuderzellen, Entstehung des Spiralbandes 558, Fig. 392.
Fette 107.
—, Oele 107.
Ficus amazonica, Bau der Wurzel 536, Fig. 375.
— carica, Urgewebe 299, Fig. 296.
— elastica, Cystolithe 132, Fig. 69, VI.
— —, Korkgewebe, Entwickelungszustände 519, Fig. 363.
— —, s. a. Urostigma elasticum.
Fittonica Verschaffelti, Chlorophyllkörper 48; Taf. I, Fig. VI, 1—3.
Flechtenstärke (= Inulin) 27.
Flüchtige Oele 107.
Forsythia Fortunei, Blumenblatt, Absorptionsspectrum 62, Fig. 31, I.
— suspensa, Kern aus dem Blatt 35; Taf. I, Fig. III, 2.
Freie Zellbildung 605.
— — im Embryosack 606.
— — bei Entstehung d. Ascosporen 609.
— — bei Entstehung der Keimzelle der Moose u. s. w. 612.
Freie Zellbildung bei Entstehung der Pollenkörner 613.
Frittilaria imperialis, Kerntheilung 593 u. f., Fig. 412 u. 413.
— —, Zellbildung 607, Fig. 418.
— persica, Kerntheilung 597 u. f., Fig. 414 u. 415, II a.
Füllzellen 405.
Funkia cordata, Chlorophyllkörper 51, Fig. 24, IV.

G.

Galanga, Stärkekörner 80, Fig. 41, IV.
Galipea macrophylla, Kieselkörper 121, Fig. 61, IV.
Gasteria verrucosa, Cuticula 319; Taf. II, Fig. XIX, 3.
— —, Oberhaut 322, Fig. 209, II.
Gefässbündel 347.
—, collaterales 353.
—, concentrisches 353.
—, geschlossene 353 u. 387.
—, offene 353 u. 389 u. f.
—, radiale 353.
—, rudimentäre 348, 349.
—, vollständige 348 u. 352 u. f.
— der Bärlappe 356.
— „ Cycadeen 422.
— „ Dikotyledonen 382.
— „ Farne 359.
— „ Monokotyledonen 368.
— „ Moose 349.
— „ Nadelhölzer 424.
— „ Rhizocarpeen 364.
— „ Schachtelhalme 354.
—, Entwickelung der 528 u. f.
Gefässbündelscheide der Bärlappe 355.
— der Farne 459.
— „ Rhizocarpeen 462.
— „ Schachtelhalme 454.
— „ Wurzel der Dikotyledonen 481.
— „ „ „ Monokotyledonen 478.
Gefässbündelstrang, centraler, der Laubmoose 450.
—, ringförmiger, der Laubmoose 451.
Gefässe, Einfluss benachbarter Zellformen auf deren Bau 281.
—, netzförmig verdickte 277.
—, porös verdickte 278.
—, ringförmig verdickte 275.
—, siebförmig-porös verdickte 282.
—, spiralförmig verdickte 275.
—, spiralig- und netzförmig-porös verdickte 281.
—, treppenförmig verdickte 279.
—, Verhalten zum polarisirten Licht 291.
Geleitzellen 407.
Geranium pratense, Stengelhaar 332, Fig. 217, IV.

Digitized by Google

Gerbsäure (= Gerbstoff).
Gerbstoffblasen 99.
Gerbstoffe 99.
—, Nachweis derselben 99 u. f.
Gewebe, gleichartige 298.
—, ungleichartige 347.
Gitterzellen 282.
—, Verhalten gegen polarisirtes Licht 295.
Gladiolus segetum, Gefässbündel 372, Fig. 246.
Globoide 71.
Granula 78.
Granulose 91.
Grundgewebe 299.
Guajakrinde, Krystalle 113, Fig. 56, V.
Gummi 98.
Gummigänge 311, 439, 493, 494, 496.
—, Entwickelung der 542, 544.
Gymnospermen, Basttheil 429.
—, Bau des Blattes 491.
—, „ „ Stammes 467.
—, Gefässbündel 422.
—, Holztheil 423.
—, Strahlengewebe 435.
Gymnostomum microstomum, Bau des Stengels 448, Fig. 306.
Gypskrystalle 119.
Gypsplättchen, gekreuzte, Elasticitätsellipsen 248, Fig. 160.

H.

Haare 331.
—, sternförmige, verästelte 331, 332.
—, Verhalten zum polarisirten Licht 333, 336, Fig. 223; 337, Fig. 224.
Harz 107.
—, Reactionen 107.
Harzgänge 308, 311, 439.
—, Entstehung der lysigenen im Gefässbündel 542.
—, Entstehung der lysigenen in der Rinde 527.
—, Entstehung der schizogenen im Gefässbündel 537.
—, Entstehung der schizogenen in der Rinde 521.
Hautschicht des Protoplasmas 16.
Hedera Helix, Strahlengewebe 418, Fig. 281.
Helianthus tuberosus, Inulin 96, Fig. 48; Taf. I, Fig. X.
Helleborus foetidus, Oberhautzellen 193, Fig. 119.
— viridis, Cuticula 318; Taf. II, Fig. XVIII, 1.
— —, Spaltöffnung 324, Fig. 212.
Heracleum spondylium, Gefässbündel 388, Fig. 260.
Hofporen (Hoftüpfel) 183.
Holz, Bau desselben bei Dikotyledonen und Gymnospermen 391, 423.
Holzfasern 368, 392, 423.
—, gefächerte 394.
—, Verhalten zum polarisirten Licht 264.
Holzgefässe 355, 371, 400, 427.
—, Verhalten zum polarisirten Licht 291.
Holzgummi (Thomson) 197.
Holzparenchym 362, 396, 425.
—, Verhalten zum polarisirten Licht 244.
Holzstoff 197.
—, Reactionen 198.
Holztheil des Gefässbündels 355, 356, 360, 365, 368, 383, 391, 423.
Hoya carnosa, Bastzelle, verzweigte 128, Fig. 65, VI.
— —, Mark 196, Fig. 122; 304, Fig. 200, IV.
— —, Markzellen, poröse 166, Fig. 95 I.
— —, Parenchymzellen, verholzt 232, Fig. 149.
— —, Rinde 310, Fig. 204.
— —, Steinzellen 139, Fig. 78; 232, Fig. 149.
Humulus Lupulus, Stachel 333, Fig. 221.
Hyacinthus orientalis, Zellkerne 31, Fig. 13, V; 37, Fig. 16; 39, Fig. 17, IV.
Hyaloplasma (Strasburger) 16.
Hypericum Androsaemum, Buntkörper 61, Fig. 30, I.
Hypochlorin (Pringsheim) 54.
Hypoderm 311, 492.

I. J.

Jahresringe 391, 405, 424, 473.
Impatiens noli tangere, Entstehung d. Netzfasern 561, Fig. 394.
— — —, Netzfaserzelle 163, Fig. 92, III; 164, Fig. 93; 278, Fig. 181.
— — —, Spiralgefässzelle 149, Fig. 82, IV.
Innenrinde 309.
— der Bärlappe 457.
— „ Cycadeen 468.
— „ Dikotyledonen 468.
— „ Farne 459.
— „ Monokotyledonen 463.
— „ Nadelhölzer 468.
— „ Rhizocarpeen 461.
— „ Schachtelhalme 452.
Intercellulargänge 302, 439, 452, 461.
Intercellularräume 302.
Intercellularsubstanz 207.
—, Entstehung 570.
—, chemisches Verhalten 211.
—, Verhalten zum polarisirten Licht 209.

Digitized by Google

Intussusception, Wachsthum d. Stärkekörner durch 85, 588.
—, Wachsthum der Zellwand durch 135, 546.
Inulin 93.
—, Nachweis desselben 93.
—, Sphärokrystalle 94.
—, „ Verhalten gegen Färbemittel 95.
—, „ Verhalten zum polarisirten Licht 96.
Ipomoea, Querschnitt des Stammes 472, Fig. 327, III.
Iris florentina, Wurzel 479, Fig. 330.
—, germanica, Oberhaut 315, Fig. 208, III.
— —, Weisskörper 43, Fig. 19, IV.
— pseudacorus, Buntkörper 57, Fig. 27, IV; 61, Fig. 30, II.
Juglans regia, Netzfaserzelle 163, Fig. 92, II.
— —, Steinzellen 232, Fig. 148.
Juncus conglomeratus, Sternzellen 302, Fig. 198, VI.
Jungermannia, Blattzellen 131, Fig. 68, I.
Juniperus communis, Bast 433, Fig. 296.
— —, Borke 346, Fig. 233.

K.

Kaliumnitrat, Krystallformen 105, Fig. 51.
Kalk, kohlensaurer 118.
—, oxalsaurer 109.
—, „ Ellipsoiddurchschnitte 116, Fig. 58.
—, „ sechsf. gewässerter 111.
—, „ zweif. „ 111.
—, schwefelsaurer 119.
—, weinsaurer 119.
—, Verhalten zum polarisirten Licht 114.
Kammerflüssigkeit (Crato) 15.
Kartoffel, Kork der Schale 338, Fig. 225.
—, Krystalloide 74, Fig. 39; 76, Fig. 40, I.
—, Stärkekörner 80, Fig. 41, I; 83, Fig. 43, I; 84, Fig. 44.
—, Stärkekörner, Entstehung 581.
—, „ Lösungserschein. 585.
—, s. a. Solanum tuberosum.
Karyenchym (Flemming) 32.
Karyokinese 591.
Keimsack (= Embryosack).
Keimzellen, Entstehung der 612.
Kern des Stärkekornes 83.
— der Zelle 29.
Kernfäden 32.
Kerngerüst 32.
Kernhaut 32.
Kernkörperchen 32.
Kernplatte 594, 595.
Kernsaft 32.
Kernsegmentirung 591.
Kernspindel 594.
Kerntheilung, amitotische 602.
—, mittelbare (directe) 591.
—, „ im Embryosack 592.
—, „ bei Entstehung d. Polle[n]mutterzelle 596.
—, unmittelbare (indirecte) 591.
Kiefer, siehe Pinus silvestris.
Kieselkörper 120.
—, mikrochemisches Verhalten 204.
Klebermehl 67.
Kleinia spec., Zellkern 31, Fig. 13, I
Knäuelform der Zellkerne 593.
Kohlenhydrate 93.
Kork, äusserer, Arten 339.
—, „ Bau 337.
—, Entstehung 517.
—, innerer, Borke 344.
—, Verhalten zum polarisirten Lic[ht] 205, 206, Fig. 130.
Korkbildungsgewebe 337, 517.
Korkrindenzellen 338.
Korkstoff 204.
Körnerschicht des Protoplasmas 16.
Krystalle, Formen u. Vorkommen 10
—, mikrochemisches Verhalten 112.
—, Verhalten zum polarisirten Lic[ht] 114.
Krystalloide 73.
—, Formverhältnisse 74.
—, chemisches Verhalten 77.
—, Verhalten zum polarisirten Licht 7
Kürbis, siehe Cucurbita Pepo.

L.

Laburnum vulgare, Verholzung d. Ze[ll]wand 200, Fig. 124.
Lactuca scariola, Gefässbündel 389, Fi[g.] 261.
Lagerpflanzen, Zellen der, Verhalten [z.] polarisirtem Lichte 236.
Lamium purpureum, Blattstielhaar 3[..] Fig. 217, V.
Larix europaea, Bast 431, Fig. 293.
— —, Bastzellen 134, Fig. 70, IV; 2[..] Fig. 164, III und 166.
— —, Siebröhren 182, Fig. 112, II 283, Fig. 186, V; 286, Fig. 188, I.
Lebendes Protoplasma, Reaction na[ch] Loew 25.
Lederkork 340.
Leontodon Taraxacum s. Taraxac[um] officinale.
Leucite (v. Tieghem und Courch[et]) 41.
Leucoleuciten 41.

Leucoplasten 41.
—, chemische Beschaffenheit 44.
—, Gestalt 43.
Libriformfasern (Sanio) (= Bast- und einfach poröse Holzfasern).
Lignin, siehe Holzstoff.
Lignose „ „
Lilium bulbiferum, Papille 330, Fig. 216.
— —, Parenchym 300, Fig. 197, III.
— —, Zelltheilung der Pollenmutterzellen 630, Fig. 430, II.
— Martagon, Embryosack vor der ersten Kerntheilung 64, Fig. 33.
— —, Kerntheilung bei der Entstehung der Pollenmutterzellen 599, Fig. 415, I und II b.
Linde, siehe Tilia.
Linin 37.
Linum, Oberhautzellen 189, Fig. 118, I.
Lipochlor 54.
Liriodendron tulipiferum, Strahlengewebe 421, Fig. 285, I.
Loasa tricolor, Haar 194, Fig. 120, I.
Lonicera caprifolium, Gefässwand, Durchbrechung 274, Fig. 176, II.
— —, spiralig-poröse Gefässzelle 187, Fig. 116, I.
Lophospermum scandens, Zellkern 35, Fig. 15, II.
Luftgänge 302, 307, 439, 466.
Lupinus mutabilis, „Solitair“ mit Krystall 71, Fig. 37, IV.
— pilosus, Proteïnkörner 68, Fig. 34, III; 70, Fig. 36, II; 71, Fig. 37, II.
Lycopodiaceen, Blatt, Bau des 489.
—, Gefässbündel 356.
—, Stamm, Bau des 457.
—, Wurzel, Bau der 475.
Lycopodium annotinum, Gefässbündel 357, Fig. 237 u. 358, Fig. 239.
— —, Stengelquerschnitt 456, Fig. 314.
— chamaecyparissus, Blatt 489, Fig. 339.
—, spec. mex., Faserzellen 178, Fig. 107.
Lysigene Secretbehälter 527, 542.

M.

Madotheca platyphylla, Bau d. Stengels 447, Fig. 305.
Makroskiereïden 309.
Malva moschata, Sternhaare 332, Fig. 217, VI.
Mamillaria spec., Röhrenzellen, optisches Verhalten 292, Fig. 194, IV.
— —, Spiralfaserzelle 149, Fig. 82, III.
Maranta zebrina, Schwammparenchym 301, Fig. 198, III.
Marchantia polymorpha, Bau d. Lagers 446, Fig. 303; 447, Fig. 304.
— —, Entstehung der Keimzelle 612, Fig. 421.
Marchantia polymorpha, Sporenmutterzellen, Theilungszustände 635, Fig. 432.
— —, Wurzelhaarzelle 132, Fig. 69, V.
— —, Zellen der Kapselwand 31, Fig. 14.
— —, Zellen der Kapselwand, Entstehung der Spiralbänder 560, Fig. 393.
Mark 303.
Mark-Rindenstrahlen 418.
Markscheide 427, Fig. 290.
Markstrahlen 417.
Marsilia quadrifolia, Gefässbündel 366, Fig. 244.
— sp., Bau des Wurzelstockes 462, Fig. 319.
— —, Gefässbündel 365, Fig. 243.
Maxillaria triangularis, Buntkörper 60, Fig. 29, I.
Melampyrum arvense, Zellkern 35, Fig. 15, I.
— pratense, Kern aus der Fruchtknotenwandung 35; Taf. I, Fig. III, 3.
Membran, primäre, der Zelle 3.
Meristeme 297.
Mesocarpus scalaris, Chlorophyllkörper 45, Fig. 20, I.
Mesophyll 299, 490.
Metakinese 596.
Metaphase (Strasburger) 596.
Metaxin (Schwarz) 53.
Metteniusa sp., Röhrenzellen 279, Fig. 182, III.
— — —, optisches Verhalten 294, Fig. 195, I.
Mikania scandens, Chlorophyllkörper 50, Fig. 23, I.
Mikrosome 15.
Milchröhren 287, 378, 386.
—, gegliederte 288.
—, ungegliederte 290.
Milchsaftgänge 306, 311, 438.
Milchsaftgefässe (= Milchröhren).
Mimulus Tillingi, Zellkerne 35, Fig. 15, VI.
Mitose 591.
Mittelbare Kerntheilung 592.
Mittelgewebe (= Mesophyll).
Mnium stellatum, Bau des Stengels 449, Fig. 308.
— undulatum, Chlorophyllkörper 47; Taf. I, Fig. V, 4.
Möhre, Farbstoffkörper der Wurzel 57, Fig. 27, VI; Taf. I, Fig. VII.
Monoasteroid 594.
Monokotyledonen, Bau des Blattes 501.
—, Bau des Stengels 463.
—, „ der Wurzel 478.
—, Gefässbündel 368.
Moose, Bau des Blattes 486.
—, „ „ Stengels 445.

Moosstärke (= Inulin).
Musa sinensis, Krystalle 113, Fig. 56, III.
Mutterstern 594.
Mutterzellen 605 u. f.

N.

Nadelhölzer, Bau des Blattes 495.
—, Gefässbündel 422.
—, „ Basttheil 430.
—, „ Holztheil 424.
—, „ Strahlengewebe 435.
Nebenorgane der Oberhaut 330.
Neottia nidus avis, Buntkörper 60, Fig. 29, III.
Nerium Oleander, Bastzellen, Spiralstreifung der 151, Fig. 83, I; 155, Fig. 86; 162, Fig. 90 u. 91; 258, Fig. 168 u. 169.
— —, Cuticula 318 u. f.; Taf. II, Fig. XVIII, 6, XIX, 1.
— —, Intercellularsubstanz 220, Fig. 139.
— —, Kork, Entstehung des 518, Fig. 361.
— —, Pollenkorn, junges 13, Fig. 6, I.
— —, Querschnitt aus einem jungen Zweige 200; Taf. II, Fig. XIV.
— —, Rinde, Parenchymzelle aus der 13, Fig. 6, II.
— —, Spaltöffnung 329, Fig. 215, IV.
Nessel, siehe Urtica.
Netzförmige Durchbrechung d. Gefässscheidewände 276.
— Röhrenzellen 277.
— Verdickungsschichten 162.
— —, Entstehung 560.
Nitrate 104.
Nitrite 104.
Nucleïn 36.
Nucleochym (Strasburger) 32.
Nucleohyaloplasma (Derselbe) 32.
Nucleolus (= Kernkörperchen) 32.
Nucleomikrosomen (Derselbe) 32.
Nucleus (= Zellkern) 29.
Nymphaea alba, Haarzelle 125, Fig. 63, II.
— —, Luftgang 303, Fig. 199.

O.

Oberhaut 314.
—, Nebenorgane der 330.
—, Spaltöffnungen 324.
Oberhautzellen, Cuticularmetamorphose 317.
—, Form u. s. w. 314.
—, Verhalten zum polarisirten Licht 333.
Oedogonium apophysatum, Zelltheilung 626, Fig. 429.
—, giganteum, Chlorophyllkörper 45, Fig. 20, II.
Oelbildner 62.
Oele 107.
Oelgänge 527.
Oelkörper 64.
Oncidium leucochilum, Kieselkörper 121, Fig. 61, V u. VI.
Onobrychis montana, Haar 194, Fig. 120, II.
Onosma echioides, Borste 333, Fig. 218.
Opuntia Tuna, ring- und spiralförmig verdickte Zellen 148, Fig. 81, II u. IV, und 149, Fig. 82, II.
Origanum vulgare, Haarzelle in polarisirtem Lichte 334, Fig. 222, I.
Osmunda regalis, Zellengang 364, Fig. 242.
Oxalis Ortgiesi, Entstehung der Stärkekörner 577, Fig. 405; 578, Fig. 406, II.

P.

Paeonia officinalis, Proteïnkörner 68, Fig. 34, IV.
Palissadengewebe 491.
Papaver Rhoeas, Milchröhren 289, Fig. 190.
Paralinin 37.
Paranuss, siehe Bertholletia excelsa.
Paraplasma 15.
Parenchymgewebe 297.
Parenchymzellen 227.
—, buchtige 126.
— des Gefässbündels, siehe Holz- u. Bastparenchym.
— des Sameneiweisses 230.
—, dünnwandige 227.
— —, Ellipsoidenschnitte 244, Fig. 156.
—, polyëdrische 124.
—, rundliche 124.
—, sternförmige 124.
—, tafelförmige 124.
—, verdickte 229.
—, Verhalten zum polaris. Licht 236.
—, verholzte 232.
—, verzweigte 125.
Pectose 8.
Pelargonium, Blatthaar 331, Fig. 217, I.
—, Blumenblattzellen 132, Fig. 69, IV.
Pellia epiphylla, Ringzelle 148, Fig. 81, I.
— —, Röhrenzelle, optisches Verhalten 292, Fig. 194, V.
— —, Sporenmutterzellen, Theilungszustände 636, Fig. 433.
Pellionia Daveauana, Entwickelung der Stärkekörner 578, Fig. 406, I, 407; 587, Fig. 411.
Periblem 309.

Periderma 340.
Periploca graeca, Krystalle 113, Fig. 56, II.
— —, Mark 307, Fig. 202.
Pfirsich, Zellenformen 124, Fig. 62, I.
Pflanzenschleim, siehe Schleim.
Phajus grandifolius, Chlorophyllkörper 51, Fig. 24, I.
— —, Stärkekörner 80, Fig. 41, VII; 83, Fig. 43, II.
— —, Weisskörper 42, Fig. 18, II.
— —, Zellkerne 39, Fig. 17, I, II, III und X.
Phanerogamen, Bau d. Blattes 491, 501, 507.
—, Bau des Stammes 462, 467.
—, „ der Wurzel 478.
—, Gefässbündel 368, 382.
Phaseolus multiflorus, Stärkekörner 80, Fig. 41, II.
Phelloderm (Sanio) 339.
Phellogen 337.
Phloëm, siehe Basttheil d. Gefässbündels.
Phloroglucin 102.
Phoenix dactylifera, Bau des Blattes 504, Fig. 349.
— —, Sameneiweisszellen 231, Fig. 147.
Phormium tenax, Blattquerschnitt 506, Fig. 351.
— —, Spaltöffnungen 326, Fig. 214, I.
Phragmites communis, Röhrenzellen 275, Fig. 177, II; 279, Fig. 182, I.
— — —, optisches Verhalten 292, Fig. 194, I und III.
Physoden (Crato) 15.
Phytelephas macrocarpa, Intercellularsubstanz 221, Fig. 142.
— — u. microcarpa, Zellen des Sameneiweisses 166, Fig. 95, III; 170, Fig. 97, I; 171, Fig. 98 u. 99; 172, Fig. 100; 174, Fig. 101; 176, Fig. 103 u. 104; 177, Fig. 105.
Picea vulgaris, Harzgänge 426, Fig. 289.
— — —, Entstehung der 522 u. f., Fig. 366—369.
— —, Holzfaser 254, Fig. 164, I; 257, Fig. 167, V u. VI.
— —, Holzgefässe 427, Fig. 290.
— —, Jahresring 188, Fig. 117.
Pinus u. s. w., Stellung der Ellipsoiddurchschnitte 268, Fig. 173.
Pinus canariensis, Hofporen 186, Fig. 115, I.
— —, Intercellularsubstanz 208, Fig. 131; 213, Fig. 135; 216, Fig. 137; 220, Fig. 140, II; 221, Fig. 141; 222, Fig. 143; 224, Fig. 144.
— — — unter polarisirtem Licht 214, Fig. 136.
— silvestris, Bast 434, Fig. 297, I u. II.
— —, Bau des Blattes 498, Fig. 346.
— —, Borke 345 u. 346, Fig. 232, I u. II.
Pinus silvestris, Cuticula 319; Taf. II, Fig. XXII, 1.
— —, Harzgang des Holzes 439, Fig. 301.
— —, Harzgänge d. Holzes, Entstehung der 537 u. f., Fig. 376—378.
— —, Hofporen 184, Fig. 113, I; 186, Fig. 115, II.
— — —, Entstehung 562 u. f., Fig. 395—401.
— —, Holz, Bau des 424, Fig. 287; 436, Fig. 298, II.
— —, Holzfasern 201, Fig. 127; 203, Fig. 128; 256, Fig. 167, II u. VII.
— —, Holzfasern in polarisirtem Lichte 264, Fig. 171 und 265, Fig. 172, II.
— —, Intercellularsubstanz 210, Fig. 132; 211, Fig. 133 und 217, Fig. 138.
— — — Entstehung der 571 u. f., Fig. 402—404.
— —, schematisches Macerationsproduct eines Querschnittes 212, Fig. 134.
— —, Spiralstreifung von Astholzfaserzellen 151, Fig. 83, IV; 152, Fig. 84; 156, 157, Fig. 87; 158, Fig. 88; 161, Fig. 89, I; 165, Fig. 94.
— —, Verdickung der Zellwand, Entstehung der 546 u. f., Fig. 383 bis 385.
— — —, Längsschnitt (Zellstoffbalken) 132, Fig 69, I.
— —, Verholzung der Zellwand, 199, Fig. 123; 201, Fig. 127; 203, Fig. 128.
— —, Zelle aus dem Herbstholz 134, Fig. 70, I.
— — — aus dem Querschnitt der Nadel 132, Fig. 69, III.
— —, Zellkerne 31, Fig. 13, IV.
— strobus, Intercellularsubstanz 219; Taf. II, Fig. XV, XVI.
Piper spec., Bau des Stengels 471, Fig. 326.
Pisum sativum, Zellkerne 39, Fig. 17, VI u. IX.
Plachiogila asplenoides, Oberhaut 322, Fig. 209, I.
Plasma, siehe Protoplasma.
Plastiden (Meyer) 41.
Plastin 36.
Platanthera bifolia, Zellkern 39, Fig. 17, V.
Platanus, Strahlengewebe 421, Fig. 284.
Plectogyne variegata, Chlorophyllkörper 47; Taf. I, Fig. V, 1—3, VI, 5.
Pleochroismus der Farbstoffkrystalle 59.
— der Zellwand 223.
Plerom 303.
Pleurothallus sp., Cuticula 318; Taf. II, Fig. XVIII, 4.
— —, Spaltöffnung 328, Fig. 215, I.
Podocarpus spec., Bau des Blattes 500, Fig. 347.

Digitized by Google

Podophyllum peltatum, Kerntheilung 600, Fig. 415, III, IV.
Pollenkörner, Aussenverdickung der Wand 195.
—, Entstehung der 613.
Pollenmutterzellen, Entstehung der 629, 632.
—, Kerntheilung bei Entstehung der 596.
Pollenzelle, eben entstandene 2, Fig. 2.
—, junge, mit Primärwand 4, Fig. 3.
Polypodium commune, Stengelquerschnitt 360, Fig. 240.
— vulgare, Bau des Wurzelstockes 358, Fig. 316.
— —, Oberhaut 315, Fig. 208, II.
— —, Parenchymzellen 168, Fig. 96, II.
— —, Spaltöffnung 328, Fig. 215, II.
Polytrichum commune, Bau d. Stengels 451, Fig. 309.
— —, Gefässbündel 350, Fig. 235.
— formosum, Blatt 487, Fig. 338.
Populus pyramidalis, Bast 408, Fig. 276.
Poren, behöfte 183.
— —, Entstehung der 562.
— —, Verhalten im polarisirten Lichte 265.
—, einfache 166.
— —, Verhalten im polarisirten Lichte 175.
—, siebförmige 181.
Porencanal 167.
Porenschliesshaut 168, 185, 201, 228, 562.
Potamogeton natans, Bau des Stengels 466, Fig. 324.
— —, Schwammparenchym 302, Fig. 198, V.
Pothos lucidus, Bau des Stengels 463, Fig. 320.
— spei, Wurzel 480, Fig. 331.
Primäre Zellwand 3.
Primordialschlauch (= Zellhaut).
Primordialzelle 2, Fig. 2.
Procambium 348.
Prophasen 593.
Proteïnkörner 67.
—, chemisches Verhalten 73.
—, Einschlüsse 70.
—, Vorkommen und Gestalt 67.
Proteïnkrystalle 73.
— als Einschlüsse 35, 43, 49, 60, 70.
—, chemisches Verhalten 77.
—, Formen 74.
—, physikalisches Verhalten 75.
Protoplasma 15.
—, Bewegung des 16.
—, Binnenströmung 19.
—, chemische Beschaffenheit 25.
—, feinerer Bau 15.
—, Wandströmung 17.
Protoplasmaströme, Entstehung der 21.
— Verhalten gegen äussere Einflüsse 22.
Protoplasten 41.
Prunus cerasus, Borke 343, Fig. 230.
— —, Gummibehälter 544, Fig. 381.
— persica, Zellen des Fruchtfleisches 124, Fig. 62, I.
Pteris aquilina, Gefässbündel 361, Fig. 241; 531, Fig. 372.
— —, Gefässwand, Durchbrechung 274, Fig. 176, IV.
— —, quer behöfte Poren 184, Fig. 113, III.
— —, Siebröhre 286, Fig. 188, II.
— —, Treppengefäss 280, Fig. 183.
— —, Wurzelstock, Bau des 460, Fig. 317.
Pyrenin (Schwarz) 37.
Pyrenoide 52.
Pyrus communis, Blattparenchymzelle 128, Fig. 65, I.

Q.

Quellung der primären Zellwand 10.
— der Proteïnkrystalle 77.
— „ Stärkekörner 87.
— „ Verdickungsschichten der Zellwand 143.
Quercus pedunculata, Faserzelle 256, Fig. 167, III.
— —, Verholzung der Holzfaserwand 201, Fig. 125.
— robur, Borke 344, Fig. 231.
— —, Stammholz, Bau des 393, Fig. 263; 403, Fig. 272.
— —, Wurzelholz, Bau des 484, Fig. 335.
Querscheidewände der Holzgefässe 274.
— der Siebröhren 182, 282.

R.

Ranunculus acer, Wurzelquerschnitt 481, Fig. 332; 482, Fig. 333.
— bulbosus, Gefässbündel 383, Fig. 257.
Raphiden 110.
Resorption der Mutterzellen 571.
Ricinus communis, Proteïnkörner 68, Fig. 34, II; 70, Fig. 36, I; 71, Fig. 37, I u. III.
— —, Proteïnkrystalle 76, Fig. 40, II.
Rinde 308.
—, äussere 311.
— der Bärlappe 457.
— „ Dikotyledonen 468.
— „ Farne 459.
— „ Laubmoose 448.
— „ Lebermoose 446.
— „ Monokotyledonen 463.
— „ Rhizocarpeen 461.
— „ Schachtelhalme 452.

Digitized by Google

Rinde, innere 309.
—, secundäre (Bast) = Basttheil des Gefässbündels.
Ringförmige Verdickung der Zellwand 147.
Ringgefässe 275.
Robinia Pseud-acacia, Holz 397, Fig. 266.
Röhrenzellen 273.
—, netzförmige 277.
—, poröse 278.
—, porös-spiralige 281.
—, Querscheidewände 274.
—, ringförmige 275.
—, siebförmig-poröse 282.
—, spiralige 275.
—, Verhalten gegen polarisirtes Licht 291.
Rohrzucker 96.
Rubus fruticosus, Kork 341, Fig. 228.
— — —, Entwickelung 520, Fig. 364.
Rumex acetosa, Collenchym 229, Fig. 146.
— —, Oberhaut, Querschnitt 317; Taf. II, Fig. XVII, 2.
Ruscus aculeatus, Durchbrechung der Porenschliesshaut 180, Fig. 108.
— —, Zellen des Sameneiweisses 166, Fig. 95, II.
— racemosus, Cuticula 319; Taf. II, Fig. XIX, 2.

S.

Sabal umbracilifera, Faserzelle 254, Fig. 164, II; 262, Fig. 170, III.
Saccharum officinarum, Gefässbündel 374, Fig. 248.
Sagittaria sagittaefolia, Schwammparenchym 301, Fig. 198, IV.
Sagus amicarum, Sameneiweiss 178, Fig. 106.
Sambucus nigra, Kork, Entstehung 518, Fig. 362.
— —, Kork und Korkrindenzellen 338, Fig. 226.
Sameneiweiss, Zellen des 169.
—, Zelltheilung 632.
Sanseviera guyanensis, Netzfaserzelle 163, Fig. 92, I.
Saxifraga sarmentosa, Spaltöffnungen 327, Fig. 214, II.
Schachtelhalme, Blatt, Bau des 488.
—, Gefässbündel 354.
—, Stengel, Bau des 452.
—, Wurzel, Bau der 475.
Scheelea sp., Gefässbündel 375, Fig. 249.
Scheitelzelle 298.
Scheitelzellengruppe 298.
Schichtung der Stärkekörner 82.
— der Zellwand 133.
— „ „ Entstehung 546.
Schizogene Secretbehälter, Entstehung 521, 537.
Schleim 98.
—, Verdickung der Zellen durch 198.
Schleimzellen, verdickte, im Mark 305.
Schleuderzellen der Lebermoose 559.
Schliesszellen der Spaltöffnungen 325.
Schuppen 332.
Schwammförmiges Parenchym 301.
Schwärmsporen, Entstehung 608.
Scilla sibirica, Absorptionsspectrum 106, Fig. 52, II.
Scirpus palustris, Diaphragmazelle 126, Fig. 64, Ia.
Secale cereale, Stärkekörner 80, Fig. 41, III.
Secretbehälter der Grundgewebe, siehe dort.
— der Grundgewebe, Entstehung der 521.
— des Gefässbündels 438.
— „ „ Entstehung des 537.
Sedum purpurascens, Spaltöffnungen 516, Fig. 359.
Segmente (der Kernfäden) 593.
Selaginella caesium, Gefässbündel 357, Fig. 238.
— —, Stengel, Bau des 457, Fig. 315.
Serjania, Querschnitt des Stammes 472, Fig. 327, II.
Siebporen 181.
—, Callus der 182.
Siebröhren 282.
Siebtheil (= Basttheil d. Gefässbündel).
Siebtüpfel (= Siebporen).
Sklereïden 253, 309.
Sklerenchym (= Faserbündel).
Sklerenchymfasern 253.
Smilax aspera, Eiweisszellen 170, Fig. 97, II; 175, Fig. 102; 180, Fig. 109.
— rotundifolia, Oberhaut 323, Fig. 210.
— sassaparilla, Stärkekörner 82, Fig. 42, I.
— spec., Wurzelquerschnitt 381, Fig. 256.
Solanum tuberosum, Kork der Knollenschale 338, Fig. 225.
— — —, Verhalten im polarisirten Lichte 205, Fig. 129 A.
— —, Proteïnkrystalle 74, Fig. 39; 76, Fig. 40, I.
— —, Stärkekörner 80, Fig. 41, I; 83, Fig. 43, I; 84, Fig. 44, I; 88, Fig. 45, I; 89, Fig. 46, I—III; Taf. I, Fig. IX.
— —, Stärkekörner, Entstehung der 582 u. f., Fig. 408, 409, 410.
— — —, Verh. in polarisirtem Lichte 89, Fig. 46, I—III; Taf. I, Fig. IX.
— —, Zellkern 31, Fig. 13, III; Taf. I, Fig. II, 7.
— — s. a. Kartoffel.

Sonchus asper, Collenchym 312, Fig. 206.
Sorbus aucuparia, Buntkörper 57, Fig. 27, II.
Spaltöffnungen 324.
—, Entstehung 514.
—, Lage zur Oberhaut 326.
—, Stellung auf den Blattflächen 326.
—, Vertheilung über die Oberhaut 326.
Sphagneen, Bau des Blattes 486.
—, Bau des Stengels 449.
Sphagnum cymbifolium, Blatt 486, Fig. 337.
— —, Stengel 448, Fig. 307.
Sphärite (Strasburger) (= Sphärokrystalle).
Sphärokrystalle 94.
— Verhalten im polarisirten Lichte 96.
Spindelfasern 594.
Spiralbänder, einfache 276.
—, mehrfache 276.
—, Windung der 149.
Spiralgefässe 275.
Spiralige Verdickung der Zellwand 148.
— —, Entstehung 557.
Spiralstreifung 150.
Spirogyra nitida, Chlorophyllbänder 45, Fig. 20, IV.
— —, Zellkern 31, Fig. 13, VI.
— quinina, Copulation 638, Fig. 434.
— spe., Pyrenoide 52, Fig. 25, III.
Sporenmutterzellen, Entsteh. der 635.
Stacheln 333.
Stachys palustris, Haarzelle in polarisirtem Lichte 334, Fig. 222, II.
Stamm, Bau, abnormer 472.
— der Dikotyledonen 467.
— „ Monokotyledonen 462.
Stärkecellulose (Nägeli) 91.
Stärkekorn, chemisches Verhalten 90.
—, Entstehung 576.
—, Grösse und Form 79.
—, Schichtung 82.
—, Verhalten gegen polarisirtes Licht 89.
Stärkekörner 79.
—, einfache, monarche (Meyer) 81.
—, mehrgliedrige (m), halb zusammengesetzte (Nägeli), complexe (Meyer) 82, 585.
—, monotone (Meyer) 586.
—, politone (Meyer) 586.
—, verbrüderte (m), zusammengesetzte (Nägeli), adelphische (Meyer) 81, 585.
Steinzellen 232.
Stengel der Bärlappe 457.
— der Farne 459.
— „ Laubmoose 448.
— „ Lebermoose 445.
— „ Rhizocarpeen 461.
Stengel der Schachtelhalme 452.
Stereïden (der Autoren) 253.
Stranggewebe (= Gefässbündel).
Streifung der Zellwand 150, 258.
Strelitzia regina, Gefässbündel 369, Fig. 245.
Strychnus nux vomica, Sameneiweiss 168, Fig. 96, I.
Stylidium adnatum s. Condollea adnata.
Sylibum marianum, Proteïnkörner 68, Fig. 34, VI; 71, Fig. 37, V.
Symphytum officinale, Wurzelparenchym 98; Taf. II, Fig. XIII.
Syringa vulgaris, Parenchymkerne 35; Taf. I, Fig. III, 1.

T.

Taraxum officinale, Milchröhren 289, Fig. 191.
— —, Milchröhre und Parenchymzelle 168, Fig. 96, III.
Taxodium distichum, Zerstörte Holzfasern 262, Fig. 170, IV.
Taxus baccata, Bast 432, Fig. 294.
— —, Faserzelle 257, Fig. 167, IV.
— —, Strahlengewebe 438, Fig. 299, III.
Theilungsgewebe 297.
Thunbergia alata, Farbstoffkörper 108; Taf. I, Fig. XI.
Thyllen 405.
Tilia grandifolia, Bau des Bastes 409, Fig. 277, I u. II.
— —, Bau des Holzes 398, Fig. 267, I.
— —, „ „ Lederkorkes 340, Fig. 227, III.
— heterophylla, Mark 305, Fig. 200, V.
— —, Schleimzellen 189, Fig. 118, III; 305, Fig. 200, V.
— platyphyllos, Röhrenzellen 281, Fig. 184, I.
— —, Siebröhren 283, Fig. 186, II.
— ulmifolia, Holzfasern 256, Fig. 167, I.
— —, Röhrenzellen 187, Fig. 116, II.
— vulgaris, Siebröhren 284, Fig. 187, III.
Tochterkerne 593 u. f.
Tochterknäule 596.
Tochterstern 596.
Tochterzelle, siehe Zelltheilung.
Torfmoose, siehe Sphagneen.
Tracheïden (= behöft-poröse Faserzellen).
Tradescantia albiflora, Blattparenchymzelle 79; Taf. I, Fig. VIII.
— discolor, Absorptionsspectrum des Farbstoffes der Blattunterseite 106, Fig. 52, I.
— —, Krystalle 115, Fig. 57, I u. IV.
— —, Weisskörper 43, Fig. 19, V; Taf. I, Fig. IV.

Digitized by Google

Tradescantia Selloi, Stengel 464, Fig. 321.
— virginica, Chlorophyllkörper 48, 49, 50, Fig. 21, 22, 23, II; Taf. I, Fig. VI, 4.
— —, Parenchymzellen, Kerntheilung 602, Fig. 417.
— —, Röhrenzellen 277, Fig. 179.
— —, Spaltöffnungen 325, Fig. 213.
— —, Staubfädenhaare, Kerntheilung 601, Fig. 416.
— — —, Protoplasmaströmung 20, Fig. 11.
— —, Wandströmung in Parenchymzellen des Blüthenschaftes 18, Fig. 9.
— viridis, Krystalle 110, Fig. 54, IV; 111, Fig. 55, II.
— —, Weisskörper 42, Fig. 18, I.
Traubenkörper (Cystolithen) 133.
Traubenzucker 96.
Treppengefässe 279.
Trichome (= Nebenorgane d. Oberhaut).
Trigonella Foenum graecum, Schleimzellen 189, Fig. 118, II.
Tristicha hypnoides, Kieselkörper 121, Fig. 61, I u. II.
Tropaeolum majus, Buntkörper 57, Fig. 27, III.
Trophoplasten (Meyer) 41.
Tulipa Gesneriana, Buntkörper 57, Fig. 27, V.
Tüpfel (= Poren).
Tyrosin 102.

U.

Ulmus campestris, Kalkkörper 118, Fig. 59, I u. II.
— —, Querschnitt durch das Holz 402, Fig. 271.
Ulothrix zonata, Schwärmsporen, Entstehung der 609, Fig. 419.
— —, Zelltheilung 616 u. f., Fig. 423 bis 426.
Umbildung der Zelle 122.
Ungleichartige Gewebe 347.
Urania, Steinzelle 144, Fig. 80, II.
— guyanensis, Verdickung der Bastfasern 142, Fig. 79, II.
Urgewebe 298.
Urmeristem (= Urgewebe).
Urostigma elasticum (Ficus elastica), Cuticula 318 u. f.; Taf. II, Fig. XVIII, 5, XXII, 3.
— —, Cystolith 132, Fig. 69, VI.
— —, Korkgewebe, Entwickelungszustände 519, Fig. 363.
— —, Krystalldrusen 110, Fig. 54, II b.
Urparenchym (= Urgewebe).
Urtica dioica, Brennhaare 333, Fig. 219.
— urens, Bastfaser, vielkernige 30, Fig. 12, II.

V.

Vacuolen 1, 14 u. f.
Vallisneria spiralis, Zellbild. 1, Fig. 1; Wandströmung 18, Fig. 8.
Vanilla planifolia, Oelbildner 63, Fig. 32.
Vanillin 197.
Verdickung der Zellwand 129.
— der Zellwand, allseitige 129.
— „ „ einseitige 130.
— „ „ leistenartige und stellenweise 131.
— „ „ durch Schleim 188.
Verdickungsformen, doppelartige 187.
—, Entstehung 546.
—, netzförmige 162.
—, poröse 165.
—, ringförmige 147.
—, spiralige 148.
Verdickungsring 387.
Verdickungsschichten 133.
Verholzung der Zellwand 197.
Verkorkung der Zellwand 203.
Viburnum Tinus, Farbstoffkörner 108, Fig. 53, II; Taf. I, Fig. XII.
Vicia Faba, Parenchym der Keimwurzel 15, Fig. 7.
— —, Stärkekörner 82, Fig. 42, II.
— —, zweikernige Zelle 30, Fig. 12, I.
— sativa, Zellkern 39, Fig. 17, VII u. VIII.
Vielkernige Zellen 30.
Vielzellenbildung 606.
Vierlingssporen, Entstehung 613.
Viertheilung der Zelle 632.
Vignia glabra, Proteïnkörner 68, Fig. 34, I.
Viscum album, Cuticula 319; Taf. II, Fig. XX, XXII, 2.
— —, Oberhautzellen 130, Fig. 67, II.
— —, Zelle, poröse 181, Fig. 110.
Vitis Labrusca, Calciumtartrat 119, Fig. 60.
— vinifera, Gefässbündel 390, Fig. 262; 395, Fig. 264; 396, Fig. 265.
— —, Gefässbündel, Füllzellen 406, Fig. 273.
— —, Röhrenzelle 281, Fig. 185.
— —, Siebröhren 284, Fig. 187, IV; 286, Fig. 188, V.
Vollzellenbildung 611.
Vorhof der Spaltöffnungen (de Bary) 325.

W.

Wachsthum der Zelle 123.
— der Zellwand 123.
— durch Apposition 135.
— „ Intussusception 135.
Wachsüberzüge 316.

Wandströmchen des Protoplasmas 17.
Wasserporen (= Wasserspalten) 329.
Wasserspalten 329.
Weisskörper 41.
—, chemisches Verhalten 44.
—, Gestaltung und innerer Bau 43.
Weizen, Stärkekörner 89, Fig. 46, IV.
Wurzel der Bärlappe 475.
— der Dikotyledonen 481.
— „ Farne 476.
— „ Monokotyledonen 478.
— „ Rhizocarpeen 477.
— „ Schachtelhalme 475.
Wurzelhaube 485.

X.

Xanthin 106.
Xanthophyll 106.
—, Absorptionsspectrum 55, Fig. 26; 107.
Xanthosoma violaceum, Gefässbündel 378, Fig. 252; 439, Fig. 300; 545, Fig. 382.
Xylem (= Holztheil des Gefässbündels).
Xylogen (= Holzstoff).

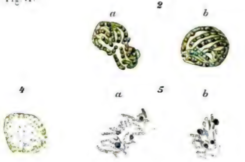
Y.

Yucca aloëfolia, Blattquerschnitt 505, Fig. 350.
— —, Parenchym des Blattes 301, Fig. 198, I.
— flaccida, Parenchym 304, Fig. 200, II.

Z.

Zea Mays, Stärkekörner 80, Fig. 41, VIII.
Zellarten 226.
Zellbildung, freie 605.
—, freie, der Ascosporen 609.
—, „ im Embryosack 606.
—, „ der Keimzellen 612.
—, „ „ Schwärmsporen 609.
—, „ „ Vierlingssporen u. Pollenkörner 613.
Zelle 1.
—, Arten 226.
—, Entstehung 605.
—, Grössen und Formveränderung 123.
—, Umbildung 122.
—, Verdickung der Wand 129.
Zellgewebe 205.
—, gleichartige 298.
—, ungleichartige 347.
Zellhaut 12.
Zellinhaltsbestandtheile, gelöste und geformte (Reserve- u. Baustoffe) 67.
—, thätige 14.
Zellkern 29.
—, chemischer Aufbau 35.
—, Einschlüsse 35.
—, feinerer Bau 32.
—, Form und Stellung 30.
Zellleib, lebendiger 12.
Zellmembran (= Zellwand) 3.
Zellplatte 607.
Zellsaft 93.
Zellstoff 7.
—, Reactionen 7.
Zellstoffbalken der Caulerpa 132, 136.
Zelltheilung 616.
— im Cambium u. s. w. 632.
— von Cladophora 622.
— der Oedogonien 625.
— im Sameneiweiss 11.
— der Specialmutterzellen der Pollenkörner und Sporen 633, 636, 639.
— von Ulothrix 616.
Zellwand 3.
—, Aussenverdickung 193.
—, chemische Umbildung 195.
—, Innenverdickung 129.
—, „ durch Schleim 188.
—, „ „ Zellstoff 129.
—, primäre, chem. Beschaffenheit 7.
—, „ optisches Verhalten 3.
—, „ schemat. Darstellung der Lage der Ellipsoiddurchschnitte 6, Fig. 5.
—, secundäre 67.
—, „ Schichtung 133.
—, „ „ Entstehung der 546.
—, „ „ Zerstörung durch Pilze 363.
—, tertiäre (= Innenwand).
—, Structur bei Faserzellen 255.
— — bei Parenchymzellen 227.
— — „ Röhrenzellen 273.
—, Verdickung der 129.
—, Verhalten gegen polarisirtes Licht 5, 233, 264, 291.
—, Verholzung 197.
—, Verkorkung 203.
Zucker 96, 629, 632, 635.
Zweitheilung 616.
Zwiebel, Krystalle 115, Fig. 57, II, III und V.
Zwischengewebe 417, 435.
Zygnema cruciata, Chlorophyllkörper 45, Fig. 20, V.

Fig VI.



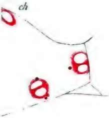


Fig III.

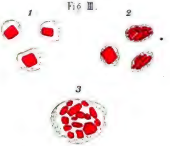


Fig XI.

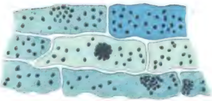
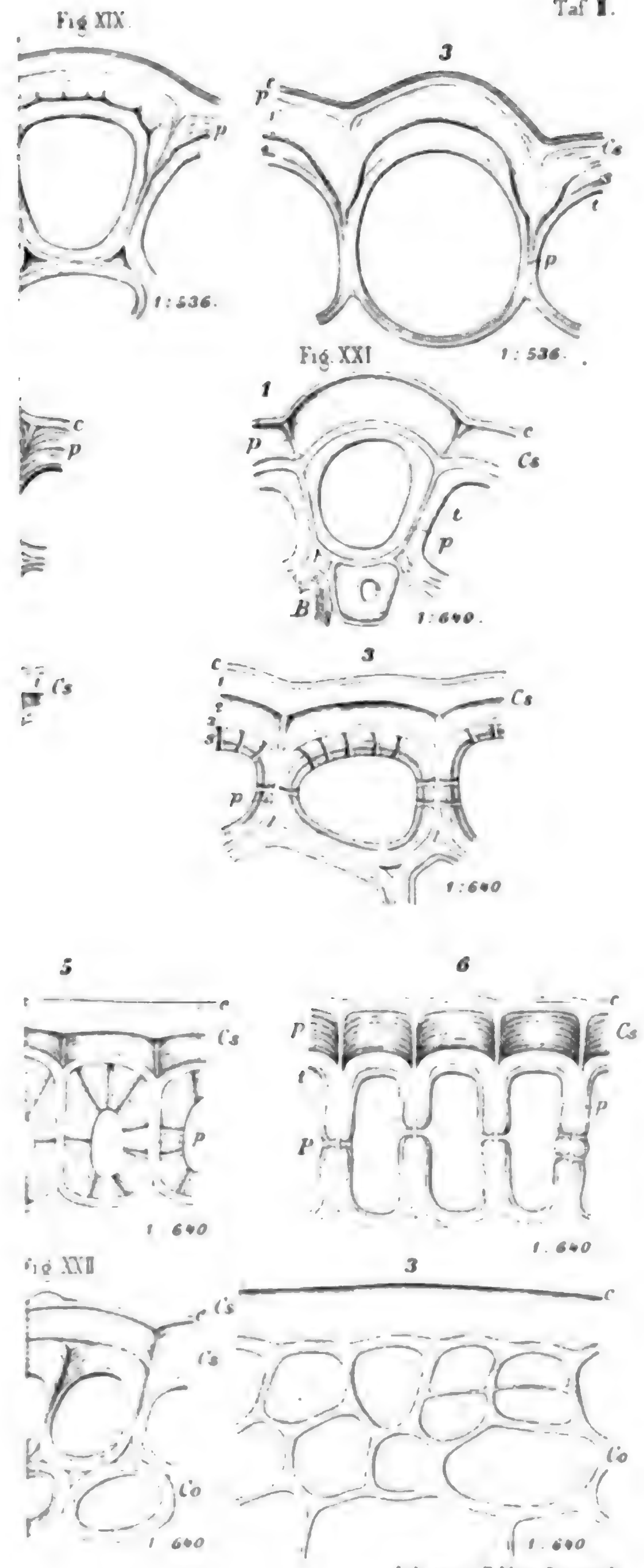


Fig X

Lith. Anst. v. F. Wirtz Darmstadt

Digitized by Google

Taf. II.



Lith. Anst. v. F. Wirtz Darmstadt

578
D596
ed. 2
Bd. 2

Digitized by Google

578
D596
ed. 2
Bd. 2

Digitized by Google

To avoid fine, this book should be returned on
or before the date last stamped below

JUN 4 1958

Biological Sciences Library

Digitized by Google

Stanford University Libraries
3 6105 003 118 077

BIOLOGY
send to dep't

578
D596
ed.2
v.2
Dippel,
Das Mi
NAME

Stanford University Library
Stanford, California

In order that others may use this book, please return it as soon as possible, but not later than the date due.

Digitized by Google

Digitized by Google